

T

ISSN 1992-3252

РАНСПОРТА

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

6²⁰²¹
Том / Vol. 19



XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА «ТРАНСПОРТ РОССИИ»

**ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ СТРАТЕГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА С ПРОГНОЗОМ НА ПЕРИОД ДО 2035 ГОДА
ВАЖНЫЙ СЦЕНАРИЙ**

| ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ | ДЛЯ ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦЕВ |
|--|---|
| <p>КОЭФФИЦИЕНТ «Т» ТЫС. км В ГОД (НАТН)</p> <p>РОСТ ЭКОНОМИКИ ОБЩЕГО РОССИИ</p> <p>КОЭФФИЦИЕНТ В 3 РАДА-МИНУСЫ</p> <p>ТРАНСПОРТНЫЙ РИСК В НАШЕ В ДТ В ТАС. АВТОМАТИЧЕСКИ</p> | <p>КАЧЕСТВЕННЫЕ: 85% ИНФРАСТРУКТУРЫ БУДТ В НОРМАТИВНОМ СОСТОЯНИИ</p> <p>БЕЗОПАСНО: ДО «327 МЛН ТОНН МОЩНОСТЕЙ - ЖД ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ИСТОРИИ</p> |

**TRANSPORT OF RUSSIA:
15th INTERNATIONAL FORUM
AND EXPOSITION**



ТРАНСПОРТНАЯ СТРАТЕГИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДО 2030 ГОДА С ПРОГНОЗОМ НА ПЕРИОД ДО 2035 ГОДА

На состоявшемся 26 ноября 2021 года заседании Правительства РФ была утверждена Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Ранее, 19 октября на заседании Президиума Государственного совета разработанная Минтранс России Стратегия была одобрена Президентом России Владимиром Путиным.

Как подчеркнул Председатель Правительства РФ Михаил Мишустин, Стратегия в полной мере учитывает все поставленные Президентом России задачи по ускорению социально-экономического развития страны и достижению национальных целей. «Приоритет государства – повышение качества жизни граждан. Для этого будем активно развивать городской и пригородный пассажирский транспорт, чтобы люди как можно меньше времени тратили на дорогу домой или на работу, а поездки были комфортными и безопасными», – сказал глава Правительства.

Он также отметил важность обеспечения высокой связанности и транспортной доступности всей территории страны, в том числе Арктической зоны и Дальнего Востока. Соответствующее поручение было дано главой государства. «Мы заложили в Стратегию соответствующие ориентиры на десятилетний период, чтобы дорога «от двери до двери» между любыми двумя крупными городами не превышала 12 часов. Это также позволит поддержать и внутренний туризм, – сообщил Михаил Мишустин. – Для этого будет сформирована современная опорная транспортная сеть через всю страну, а также будет ускоренно обновляться инфраструктура и транспортный парк, прежде всего за счёт отечественных моделей. Будут построены высокоскоростные магистрали для автомобильного и железнодорожного транспорта. Предстоит и масштабное обновление аэродромной инфраструктуры, которое затронет свыше 100 аэропортов. Кроме того, перейдём к более активному использованию внутренних водных путей».

Как отметил в своём выступлении Министр транспорта Виталий Савельев, работа над документом велась параллельно с разработкой инициатив социально-экономического развития Российской

Федерации до 2030 года. «Мы использовали полученные в ходе стратегических сессий опыт и данные при написании Стратегии и формировании образа будущего отрасли», – подчеркнул Виталий Савельев.

В Стратегии учтены важнейшие мировые тренды, включая декарбонизацию и «зелёный» транспорт, а также переход на новые источники энергии. Впервые выделен блок по цифровой трансформации в качестве важнейшего инструмента достижения целей. «Цифровизация позволит достичь снижения издержек и роста производительности труда минимум в два раза в транспортной отрасли», – уточнил глава Минтранса.

Также разработаны критерии отнесения объектов инфраструктуры к Единой опорной транспортной сети на всех видах транспорта для создания мульти-модальной синергии. Целью развития Единой сети является достижение нормативного состояния для 85 % сети к 2035 году и устранение узких мест.

Одной из главных задач Стратегии является рост мобильности населения на 80 % за счёт мер поддержки со стороны государства, развития низкобюджетных перевозок и ряда других инструментов. «Благодаря развитию инфраструктуры и сопутствующим мерам мы сможем ускорить перемещение грузов в транспортной системе страны. В рамках Стратегии к 2035 году прогнозируется четырёхкратный рост скорости перемещения несырьевых грузов – до 1000 км/сутки – с использованием контейнерных поездов», – подчеркнул Министр.

Следующим шагом станет разработка плана реализации Стратегии и Генеральной схемы развития Единой опорной транспортной сети. «Пандемия коронавируса продемонстрировала, что цепочки поставок и транспортная система должны уметь адаптироваться к меняющейся конъюнктуре рынков. Поэтому Стратегия будет актуализироваться на регулярной основе», – завершил Виталий Савельев.

**По материалам
Министерства транспорта
Российской Федерации:**

**[https://mintrans.gov.ru/press-center/
news/10118](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10118) ●**

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

6 2021
(97)

СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор, заместитель председателя КАЗПРОФТРАНС (Республика Казахстан)

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

*Леонид БАРАНОВ, Пётр БЕСТЕМЬЯНОВ,
Екатерина БАЛАКИНА, Андрей ОХОТНИКОВ*

Погрешности измерения расстояния
до препятствия средствами технического зрения
и прогноза пути торможения в беспилотных
системах управления движением поездов 6

Игорь АГУРЕЕВ, Андрей АХРОМЕШИН

Математическая модель транспортного поведения
на основе теории транспортных макросистем 13

НАУКА И ТЕХНИКА

*Александр ПЕТРУШИН, Владислав СМАЧНЫЙ,
Владимир ЛОБЫНЦЕВ, Сергей ФОКИН*

Автоматизация управления электроприводом
обитаемого подводного аппарата 20

Павел ТРОИЦКИЙ

Применение газотурбинной тяги в проектах
высокоскоростных железнодорожных
магистралей в России 26

ЭКОНОМИКА

*Эльман Мехти Оглу НАДЖАФОВ,
Орхан Низами Оглу ГАСАНЛЫ*

Метод оценки услуг логистического аутсорсинга 32

Анна БОГЕР

Ситуационный анализ рынка грузовых перевозок
и перспективы его развития 38

Сергей ПАСТУХОВ, Константин СТЕЛЬМАШЕНКО

Новые подходы к управлению ценами
на транспортные услуги 48

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», 2021

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Константин МИКРЮКОВ

Особенности методов оценки перспективной интенсивности
движения при проектировании платных автодорог 62

Рахмиддин САЛОМЗОДА, Музаффар БОБОЕВ

Анализ состояния пассажирских перевозок
в городе Худжанд и перспективы их развития 68

Дмитрий ЛЕВИН

Оптимизация скорости движения поездов 73

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Алексей РАЗУВАЕВ

История развития сухопутной транспортной инфраструктуры:
техническая база и экономические аспекты. Часть 1 92

Пресс-архив

Н. П. ВЕРХОВСКИЙ

О книге Н. П. Верховского
«Железнодорожная неразбериха». Часть 1 103

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Материалы Бюллетеня ОСЖД
во втором полугодии 2021 года 118

Авторефераты диссертаций 122

Новые книги о транспорте 126

Содержание номеров журнала
«Мир транспорта», вышедших в 2021 году в томе 19 127

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 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии Юридического института
РУТ (МИИТ), 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом. 9, стр. 9.

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

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

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 19²⁰²¹
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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

*Leonid A. BARANOV, Petr F. BESTEMYANOV,
Ekaterina P. BALAKINA, Andrey L. OKHOTNIKOV*

Errors in Measuring the Distance to an Obstacle
by Technical Vision Means and in Forecasting

Braking Distance in Driverless Train Control Systems 134

Igor E. AGUREEV, Andrey V. AKHROMESHIN

Mathematical Model of Transport Behaviour

Based on Transport Macrosystems Theory 141

SCIENCE AND ENGINEERING

*Alexander D. PETRUSHIN, Vladislav Yu. SMACHNY,
Vladimir V. LOBYNTSEV, Sergey G. FOKIN*

Automation of the Control of Electric

Drive of Manned Submersibles 148

Pavel S. TROITSKY

Applicability of Gas Turbine Traction in High-Speed

Rail Projects in Russia 154

ECONOMICS

*Elman Mehdi Oglu NAJAFOV,
Orkhan Nizami Oglu HASANLI*

The Method of Valuing of Logistic Outsourcing Services 160

Anna D. BOGER

Situational Analysis of the Cargo Transportation Market
and Prospects for Its Development 165

Sergey S. PASTUKHOV, Konstantin V. STELMASHENKO

New Approaches to Pricing Management

of Transport Services 174

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief

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

BOARD MEMBERS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office

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

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

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

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta

© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2021. All rights reserved.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Konstantin S. MIKRYUKOV

Features of Methods for Assessing the Long-Term
Traffic Intensity in the Design of Toll Roads 188

Rakhmiddin S. SALOMZODA, Muzaffar M. BOBOEV

Analysis of the Passenger Transportation in the City
of Khujand and the Prospects for its Development 194

Dmitry Yu. LEVIN

Optimising Train Speed 199

HISTORY WHEEL

Aleksey D. RAZUVAEV

The History of Development of Inland Transport Infrastructure:
Technology and Economic Aspects. Part 1 218

News from the Archives

N. P. Verkhovsky

About the Book «Railway Confusion»
by N. P. Verkhovsky. Part 1 228

BIBLIO-DIRECTIONS

Materials of the Bulletin of the OSJD published
in the second half 2021 242

Selected Abstracts of Ph.D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 248

New Books on Transport and Transportation 249

Contents of the issues of World
of Transport and Transportation Journal
published in Vol. 19 (2021) 251

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

97 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 300 hard copies available on subscription.

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

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

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

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

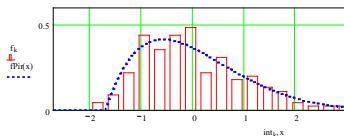
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.



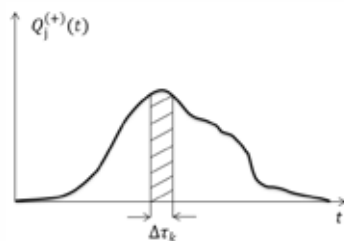
БЕСПИЛОТНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ

6

Автономные транспортные средства уже являются частью нашей повседневной жизни. Чтобы обеспечить безопасность их движения, активно развиваются технологии, позволяющие определить дистанцию до препятствий, цифровые двойники, машинное зрение. Здесь требуется особая точность, как в самих измерениях расстояний, так и при расчёте тормозного пути. Где находятся пределы допустимых погрешностей измерений? Исследование предлагает модели оценки.



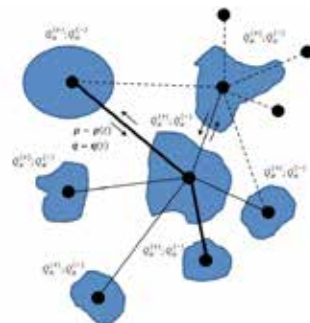
ВОПРОСЫ ТЕОРИИ



МОДЕЛЬ
ТРАНСПОРТНОГО
ПОВЕДЕНИЯ

13

Возможно ли и как описать мотивы и решения пассажира отправиться в поездку, выбрать вид транспорта и маршрут? Можно ли для этого построить математическую модель транспортного поведения? Ранее предложенный подход получил развитие в новом исследовании.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.25

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-1>

Погрешности измерения расстояния до препятствия средствами технического зрения и прогноза пути торможения в беспилотных системах управления движением поездов



Леонид БАРАНОВ



Пётр БЕСТЕМЬЯНОВ



Екатерина БАЛАКИНА



Андрей ОХОТНИКОВ

*Леонид Аврамович Баранов¹, Пётр Филимонович Бестемьянов²,
Екатерина Петровна Балакина³, Андрей Леонидович Охотников⁴*

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

⁴ Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия.

✉ ³ balakina_e@list.ru.

АННОТАЦИЯ

Системы технического зрения являются источниками информации о препятствии, оказавшемся на пути, при беспилотном управлении движением поездов. По полученной информации системой управления движением принимается решение о включении режима торможения с целью предотвращения наезда на препятствие.

В соответствии с международным и отечественным опытом и нормами необходимо обеспечить вероятность опасного отказа, в данном случае – вероятность наезда на препятствие, не более 10^{-8} при доверительной вероятности 0,95 по SIL-4 (ГОСТ-Р61508). Учитывая наличие погрешности измерения расстояния до препятствия системой технического зрения и погрешности расчёта тормозного пути, требуется определить координату точки начала торможения при обнаружении предмета на пути таким образом, чтобы обеспечить остановку поезда до препятствия с вероятностью, определяемой в соответствии с SIL-4.

Особенностью решаемой задачи оценки погрешностей измерения расстояния до препятствия и расчёта тормозного пути является необходимость определения оценок их максимальных величин и разработки алгоритма использования этих оценок таким образом, чтобы вероятность наезда не превышала нормированного значения.

Приведена методика определения максимальной величины погрешности измерения расстояния до места препятствия, вероятность превышения которой довольно мала (от 10^{-2} до 10^{-6}). Предложен алгоритм многократных измерений расстояния до препятствия с выбором минимального результата измерений для принятия решения о начале торможения, обеспечивающий выполнение нормативного показателя вероятности столкновения поезда с препятствием согласно SIL-4. Разработана методика оценки погрешности расчёта тормозного пути, обеспечивающая совместно с алгоритмом многократных измерений системой технического зрения расстояния до препятствия, нормативный показатель согласно SIL-4. Показана необходимость функционирования второго канала технического зрения из-за наличия кривых в пути следования. Обоснована необходимость использования алгоритмов многократных измерений до препятствия по второму каналу, расположенному вне поезда. Отмечено, что описанные в данной статье способы выбора максимальных значений случайных погрешностей измерений и расчётов, превышение величин которых имеет весьма малую вероятность, могут быть использованы в различных прикладных задачах управления движением на транспорте.

Ключевые слова: транспорт, железнодорожный транспорт, техническое зрение, погрешность измерения расстояния до препятствия, беспилотные системы управления движением, расчёт тормозного пути, оценка погрешности.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сирлус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001.

Для цитирования: Баранов Л. А., Бестемьянов П. Ф., Балакина Е. П., Охотников А. Л. Погрешности измерения расстояния до препятствия средствами технического зрения и прогноза пути торможения в беспилотных системах управления движением поездов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей функцией автоматической интеллектуальной транспортной системы является восприятие окружающей среды и способность различать наличие препятствий, в том числе в процессе движения [1–3]. Отсюда проистекают основные области применения технического зрения: визуальный контроль и роботизированное зрение [1; 4]. Для решения задач обнаружения препятствий в указанных областях используется множество подходов. Наиболее поверхностными являются «качественные» алгоритмы, они возвращают только ответы «да»/«нет» относительно наличия препятствий в поле зрения [5]. Ещё одним распространённым подходом к обнаружению препятствий являются аналитические и статистические методы, предполагающие оценку движения и создание карт на основе статистической информации [6]. В последние годы большинство алгоритмов стали использовать стереовидение или 2D/3D сенсорные технологии. Основным их плюсом является возможность определения различных параметров препятствия, например, высоты препятствия над землёй и расстояния до него [5; 7; 8]. В основе стереовидения лежат методы спектрального анализа [9], генетические алгоритмы и нейронные сети [10].

В беспилотных системах управления движением поездов используется техническое зрение для предотвращения столкновения движущегося поезда с препятствием, оказавшимся на пути [11]. Устройство управления получает информацию о расстоянии до препятствия и на фиксированном расстоянии формирует команду на срабатывание звукового сигнала предупреждения для того, чтобы препятствие было убрано. В случае, когда препятствие оказывается на расстоянии, равном пути служебного (или экстренного) торможения, формируется команда начала торможения. Целью безопасного управления является обеспечение остановки поезда до препятствия. Момент формирования команды торможения выбирается из условия равенства рассчитанного пути торможения $S_{\text{торм}}$ поезда, движущегося со скоростью V , и расстояния, измеренного системой технического зрения до места препятствия:

$$S_{\text{торм}}(V) = L_{\text{изм}}. \quad (1)$$

Вместе с тем, рассчитанная величина тормозного пути $S_{\text{торм}}(V)$ может отличаться от реальной из-за всегда имеющихся упрощений в модели поезда, используемой при расчёте, на-

личия случайных возмущений, приводящих к изменению сопротивления движению поезда, погрешностей в задании плана и профиля пути в зоне движения и т.д. Измерение расстояния до места препятствия в системе технического зрения также реализуется со случайной погрешностью.

Пусть $\Delta S_{\text{торм}}(V)$ и ΔL – абсолютные погрешности расчёта тормозного пути и измерения расстояния до места препятствия соответственно; $S_{0\text{торм}}(V)$ и L_0 действительные значения тормозного пути и расстояние до препятствия соответственно. Тогда исходя из условия обеспечения безопасности, выбор момента начала торможения определяется как:

$$S_{0\text{торм}}(V) = L_0, \quad (2)$$

и выражение (1) преобразуется следующим образом:

$$S_{0\text{торм}}(V) + \Delta S_{\text{торм}}(V) \leq L_0 + \Delta L. \quad (3)$$

Худшим с точки зрения безопасности движения является ситуация, когда $\Delta S_{\text{торм}}(V) < 0$, $\Delta L > 0$, т.е. при выполнении условия (1) в то время как рассчитанный тормозной путь меньше, чем реализуемый, а измеренное расстояние до объекта больше, чем реальное, произойдёт столкновение поезда с препятствием. Отсюда оценкой сверху вероятности столкновения поезда и препятствия при известных законах распределения плотности вероятности случайных величин $\Delta S_{\text{торм}}(V)$ и $\Delta L(L)$, при известных V и L является:

$$P_{\text{ст}}(V, L) = \int_{-\infty}^0 f(\Delta S_{\text{торм}}|V) d\Delta S_{\text{торм}}(V) \int_0^{\infty} f(\Delta L|L) d\Delta L, \quad (4)$$

где $f(\Delta S_{\text{торм}}|V)$ и $f(\Delta L|L)$ – функции распределения условных плотностей вероятности $\Delta S_{\text{торм}}(V)$ и $\Delta L(L)$. Эту оценку можно уточнить, определив при известных функциях плотностей вероятностей статистически независимых случайных величин $\Delta S_{\text{торм}}|V$ и $\Delta L(L)$ функцию распределения плотности вероятности $\phi(z)$ случайной величины $Z = \Delta S_{\text{торм}} + \Delta L$ при фиксированных V и L .

Тогда:

$$P_{\text{ст}} = \int_0^{\infty} \phi(z|V, L) dz.$$

Эту величину можно ещё раз оценить сверху:

$$P_{\text{макс.ст}} = \max P_{\text{ст}}(V, L). \quad (5)$$

Определение функций распределения плотностей вероятностей по результатам обработки результатов многочисленных расчётов и измерений, когда существенны оценки вероятности опасной ситуации порядка 10^{-4} – 10^{-8} , требуют





высокой достоверности в описании «хвостов» распределений, что составляет известные трудности. Поэтому в данной работе, *целью* которой является решение задачи оценки погрешностей измерения расстояния до препятствия и расчёта тормозного пути, определения оценок их максимальных величин и разработки алгоритма использования этих оценок таким образом, чтобы вероятность наезда не превышала нормированного значения, использован другой способ решения.

Для уменьшения вероятности столкновения поезда с препятствием можно использовать известный приём, заменив выражение в условиях формирования команды на начало торможения следующим:

$$S_{\text{торм}}(V) + \Delta S_{\text{max}} = L_{\text{изм}} - \Delta L_{\text{max}}, \quad (6)$$

где $\Delta S_{\text{max}} = \max \Delta S_{\text{торм}}(V)$ – максимальное значение модуля отрицательной погрешности расчёта и $\Delta L_{\text{max}} = \max \Delta L_0(L)$ – максимальное значение положительной погрешности измерения.

По существу, это условие определяет длину «защитного участка пути» перед препятствием, которое позволит, как будет показано далее, обеспечить требуемый показатель безопасности. Вместе с тем, определение величин $S_{\text{торм max}}$ и ΔL_{max} также связано с вероятностными оценками этих величин, которые, в свою очередь, определяют оценку вероятности столкновения поезда с препятствием. Особенностью решения этой задачи является то, что допустимые оценки безопасности определяются очень малыми значениями.

Выбор максимальных значений случайных величин при всегда имеющих место ограничения на число испытаний является задачей теории вероятности и математической статистики. Особенностью использования этого математического аппарата для решаемой задачи является малая допустимая вероятность превышения значения случайной величины выбранного её максимального значения [12].

В условиях, когда длина защитного участка выбирается равной $S_{\text{max}} + \Delta L_{\text{max}}$, столкновение возможно, когда сумма погрешностей превышает сумму максимальных значений этих погрешностей, выбранных с рассчитанной вероятностью при фиксированном доверительном интервале. Следовательно, вероятность опасной ситуации $P_{\text{max ст}}$ можно оценить сверху как произведение вероятностей событий $\Delta S_{\text{торм}}(V) > S_{\text{max}}$ и $\Delta L(L) > L_{\text{max}}$:

$$P_{\text{max ст}} < P[(\Delta S_{\text{торм}}(V)) > \Delta S_{\text{торм max}}] \cdot P[\Delta L(L) > \Delta L_{\text{max}}]. \quad (7)$$

Отметим, что задача выбора длины «защитного» участка по заданной допустимой вероятности опасного события требует своего решения также при анализе систем обеспечения безопасности движения поездов на перегонах при наличии машиниста [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика оценки максимальной погрешности измерений

Рассмотрим подход к оценке максимальной погрешности $\Delta L_{\text{max}}(L)$ при определении расстояния между движущимся поездом и предметом на пути. Знание максимальной погрешности позволяет выбрать точку начала торможения движущегося поезда, обеспечивающую с заданной нормированной вероятностью отсутствие столкновения поезда с препятствием. Информация о случайной величине погрешности измерения расстояния содержится в законе распределения плотности вероятности этой величины, полученного по результатам статистической обработки экспериментальных данных [14]. Так как вероятность исхода допускается с вероятностью 10^{-8} (для SIL-4), то определение вероятности максимальной величины погрешности в этих условиях соответствует «хвостам» распределения. Приближённый метод определения доверительного интервала для вероятности на основе замены закона распределения частоты гауссовским неприменим, так как величины вероятностей очень малы. В этих условиях можно использовать следующий приём [12]. Пусть в результате n опытов величина погрешности ΔL_{max} ни разу не была зафиксирована. Обозначим это событие как B . Требуется найти максимальное значение вероятности того, что $\Delta L > L_{\text{max}}$, которая совместима с наблюдаемым в опыте событием B .

Введём обозначения: p – вероятность того, что $\Delta L > \Delta L_{\text{max}}$; p_m – максимальное значение p . Диапазон доверительного интервала для p составляет $0 \leq p \leq p_m$. Несовместимы с наблюдаемым в опыте событием будут те значения p , для которых вероятность события B меньше, чем $\lambda = 1 - \beta$, где β – доверительный интервал.

Для любой вероятности p вероятность того, что при n измерений не было результата $\Delta L > \Delta L_{\text{max}}$ определяется выражением $P(B) = (1 - p)^n$. При $P(B) = \lambda$ получим уравнение для p_{max} :

$$(1 - p_{\text{max}})^n = 1 - \beta. \quad (8)$$

Откуда:

$$p_{\text{max}} = 1 - \sqrt[n]{1 - \beta}.$$

Таблица 1

Число экспериментов (n) для определения p_{\max} с заданным доверительным интервалом [выполнено авторами]

| $p_{\max} = 10^{-2}$ | | $p_{\max} = 10^{-4}$ | | $p_{\max} = 10^{-6}$ | |
|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|
| n | β | n | β | n | β |
| 229 | 0,9 | 23025 | 0,9 | 2302534 | 0,9 |
| 459 | 0,99 | 46050 | 0,99 | 4605168 | 0,99 |
| 688 | 0,999 | 69075 | 0,999 | 6907752 | 0,999 |

При заданных допустимых вероятностях того, что погрешность $\Delta L \geq \Delta L_{\max}$ и доверительном интервале β из (8) можно получить какое число (n) экспериментов, в которых ни разу не наблюдалось событие $\Delta L > \Delta L_{\max}$, должно быть проведено, чтобы считать величину p_{\max} не противоречащей результатам эксперимента:

$$n = \frac{\lg(1 - \beta)}{\lg(1 - p_{\max})}.$$

Результаты расчёта числа экспериментов с округлением к большему целому числу для $\beta = 0,9; 0,99; 0,999$ и $p_{\max} = 10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-6}$ сведена в табл. 1.

Как следует из данных этой таблицы, целесообразно проводить число экспериментов для выбора ΔL_{\max} при $p_{\max} = 10^{-2}$ при $\beta = 0,9; 0,99; 0,999$ и обосновывать условия безопасности путём выбора алгоритма, использующего значение ΔL_{\max} при $p_{\max} = 10^{-2}$.

Пусть в некоторой точке пути два раза проведено изменение расстояния до препятствия: первый раз – результат измерения L_1 , второй раз – результат измерения L_2 . В каждом из этих результатов вероятность того, что погрешность измерения превышает ΔL_{\max} составляет $p_{\max} = 10^{-2}$ при фиксированном доверительном интервале. Тогда вероятность того, что в обоих случаях погрешность превышает ΔL_{\max} составляет $p_{\max} = 10^{-4}$. Если из L_1 и L_2 выбрать наименьшее и это значение использовать для принятия решения о торможении, можно обосновать выбор ΔL_{\max} уже с вероятностью её превышения 10^{-4} . Аналогично при использовании трёх измерений $p_{\max}^3 = 10^{-6}$. Для обеспечения требований SIL-4, число измерений равно 4. Таким образом, используя при принятии решения нескольких измерений, распределённых во времени, уменьшается вероятность опасной ситуации. Очевидно, что, зная длительность одного измерения и скорость движущегося объекта, величина ΔL_{\max} увеличивается на длину пути, пройденного этим объектом за время k измерений.

Рассмотрим пример. Пусть известно, что в результате 459 испытаний максимальная величина погрешности не превысила 20 % измеряемого расстояния. Максимальное измеряемое расстояние равно 2 км. Тогда $\Delta L_{\max} = 400$ м и вероятность того, что погрешность будет превышать эту величину в соответствии с данными табл. 1 при доверительном интервале 0,99 составляет $p_{\max} = 10^{-2}$. Если выбрать из результатов трёх измерений наименьший, то вероятность того, что $\Delta L_{\max} > 400$ м составляет 10^{-6} . Очевидно, что в данном примере максимальное измеряемое расстояние превышает длину тормозного пути поезда, движущегося с максимально допустимой скоростью.

Дополнительным способом, уменьшающим вероятность столкновения, является использование второго канала измерений. В этом случае выбирается минимальное измеренное расстояние до объекта при многократном измерении в каждом из каналов. Пусть, например, в каждом из двух каналов используются результаты двух измерений при $p_{\max} = 10^{-2}$. Тогда обеспечивается выбор ΔL_{\max} с вероятностью того, что реальная погрешность превысит ΔL_{\max} , составляет 10^{-8} .

Следует отметить, что наличие второго канала технического зрения, аппаратура которого расположена вне поезда, необходима также потому, что бортовые устройства не видят препятствия при наличии кривых. В этом случае, допустимую вероятность опасной ситуации следует обеспечивать путём описанного выше алгоритма при k измерениях по второму каналу.

Оценки величины максимальной погрешности расчёта тормозного пути поезда

Анализу точности прицельного торможения посвящено значительное число экспериментальных и теоретических исследований. Теоретические исследования, как правило, использовали математическое моделирование, в частности, методы имитационного моделирования. В этих исследованиях [14–17] поезд



задавался своими, хорошо известными математическими моделями, используемыми в тяговых расчётах, при анализе процесса торможения в длинносоставных тяжеловесных поездах с распределённой тягой. Моделировались различные законы управления, реализуемые в обратной связи систем прицельного торможения, относящихся к классу терминальных систем [14–16; 18]. Системами прицельного торможения обеспечивали остановку поезда с заданной точностью в определённой точке пути. Особенно высокие требования к таким системам предъявляются в условиях метрополитена, когда требуется остановить поезд перед фиксированной точкой с погрешностью, не превышающей 20 см. При этом требуется обеспечить минимальное время торможения, так как увеличение этого времени на 1 сек. при заданном времени хода по перегону увеличивает расход энергии на тягу примерно на 1 %. На магистральных железных дорогах аналогичная погрешность может составлять 5 м. В системах безопасности движения, в которых решается задача «не допустить столкновения с препятствиями», требуется, прежде всего, при обнаружении последнего обеспечить остановку поезда до этого препятствия, возможно даже на разумно допустимом расстоянии.

Системы прицельного торможения должны обеспечить заданную точность остановки на многообразии видов профиля перед точкой остановки.

В ряде ситуаций возникает необходимость включения системы экстренного торможения. В этом случае используется максимально допустимая сила торможения, система управления становится разомкнутой. Основное требование – обеспечение минимальной длины тормозного пути.

Для учёта влияния возмущений на величину погрешности реализации заданного тормозного пути использовались методы имитационного моделирования, в частности, метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). При этом моделируются случайная величина погрешности измеряемой скорости, используемой в обратной связи системы сравнения прицельным торможением, случайные отклонения дополнительного сопротивления движения от расчётного. Следует отметить, что дополнительное сопротивление движению, как правило, много меньше силы торможения, и его вариации оказывают нежелательное влияние на погрешность прицельной остановки. При статистиче-

ском моделировании выбирают различные наборы элементов профиля и плана пути. В рассматриваемой в данной статье задаче возможен набор «наихудшего» с точки зрения условий безопасности профиля. Это позволяет уменьшить объём статистических испытаний.

При выборе стохастических моделей случайных величин всегда стоит вопрос об обосновании не только их функций распределения плотности вероятности, но и об обосновании диапазона изменений этих величин. В частности, диапазон изменения погрешности измерения скорости может выбираться из технических характеристик тракта измерения, определённых изготовителем в условиях использования приборов в работоспособном состоянии. Одновременно необходимо оговаривать меры, принятые к возможному привлечению аномальных погрешностей, и совокупность мер по их парированию. Например, наличие нескольких каналов измерений и способы диагностики этих каналов, наличие противоюзных и противобуксовых систем, способы коррекции измеряемого пути, пройденного поездом и т.д. Следует отметить, что имеющийся опыт эксплуатации автоматических систем прицельного торможения, многолетний опыт сравнения реальных параметров движения поездов с результатами тяговых расчётов, свидетельствуют об адекватности моделей, описывающих движение поезда, реально исследуемым объектам. Наличие инструкций и правил производства тяговых расчётов, верификация программного обеспечения этих расчётов позволяют считать эти модели цифровыми двойниками поездов.

Будем считать нормальным значением результата расчёта тормозного пути величину, полученную в предположении, что все параметры математической модели определены точно. Погрешностью расчёта тормозного пути будем называть разность между номинальным значением и величиной тормозного пути, рассчитанную при отклонении параметров модели от заданных. Приведём результаты анализа влияния погрешностей измерения в тракте измерения скорости на величину погрешности расчёта тормозного пути [15]. В имитационных экспериментах принято, что максимальная погрешность измерения скорости поезда не превышает десятой части от текущего значения скорости, функция распределения плотности вероятности случайной величины – закон равномерной плотности

вероятности с нулевым математическим ожиданием. Тогда:

$$\Delta V = 0,1V(rnd(2)-1), \quad (9)$$

где V – скорость движения поезда;

ΔV – погрешность измерения скорости;
 $rnd(2)$ – функция генерации равномерно распределённых чисел в диапазоне от 0 до 2.

Результаты имитационных экспериментов получены для моделей пригородных поездов, оборудованных системами управления торможением с различными законами управления [15; 16].

Для каждой из этих моделей по результатам не менее 200 имитационных экспериментов построены гистограммы относительных частот погрешностей (рис. 1 и рис. 2), предложены законы распределения плотности вероятности погрешностей расчёта тормозного пути, в соответствии с критерием χ^2 Пирсона показано, что выбранные законы распределения плотности вероятности не противоречат результатам эксперимента.

Полученная статистика описывается распределением Пирсона I типа. При построении системы управления торможением по ускорению [16] наблюдаемый в экспериментах диапазон измерения погрешностей расчёта тормозного пути составил $-3 \text{ м} \leq \Delta S_{\text{торм}} \leq 1,5 \text{ м}$, при построении системы управления торможением по скорости [15] $-2 \text{ м} \leq \Delta S_{\text{торм}} \leq 3,5 \text{ м}$. Число проведённых имитационных экспериментов, достаточное для определения закона распределения плотности вероятности случайной величины погрешности расчёта тормозного пути, не позволяет с необходимой вероятностью, требуемой международными нормами, утверждать, что случайная величина находится в данном диапазоне. Поэтому дополнительно необходимо увеличить число имитационных экспериментов в соответствии с данными табл. 1. Например, до 229, чтобы с вероятностью 10^{-2} и доверительным интервалом 0,9 утверждать, что максимальная по модулю величина отрицательного значения погрешности расчёта тормозного пути не превысит 3 м (рис. 1) при использовании систем управления торможением по скорости. Для того же утверждения с вероятностью 10^{-4} и доверительным интервалом 0,9 необходимо (см. табл. 1), чтобы было проведено 46050 имитационных экспериментов.

С целью сокращения числа экспериментов возможен другой подход, также использующий современные средства вычислительной

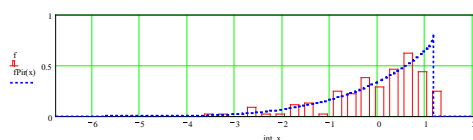


Рис. 1.

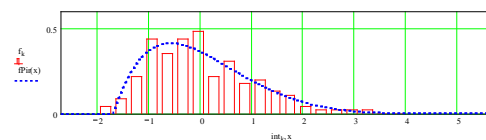


Рис. 2.

техники. При известной математической модели объекта требуется решить оптимизационную задачу минимизации модуля отрицательной величины погрешности расчёта тормозного пути при заданных областях определения переменных, влияющих на результаты расчёта. Этот подход из-за ограниченного объёма не рассматривается в рамках данной статьи.

Совокупность результатов, позволяющих с заданной вероятностью определить предельные значения величин погрешности измерения расстояния до препятствия и прогноза пути торможения, даёт возможность формировать алгоритмы функционирования системы обеспечения безопасности и обосновывать её соответствие международным требованиям.

ВЫВОДЫ

1. При построении беспилотных систем управления движением необходимо обеспечить остановку поезда перед препятствием, появившимся на пути. Эта функция должна быть реализована с вероятностью, близкой к единице. В соответствии с международными нормами допустима вероятность опасной ситуации составляет 10^{-8} для SIL-4. В качестве датчика препятствия используются системы технического зрения. Для выполнения требуемых условий безопасности необходимо использовать алгоритм многократных измерений расстояния до препятствия с выбором минимального результата измерений для принятия решения о начале торможения.

2. Учитывая наличие кривых в пути следования, что приводит к невозможности индикации препятствия бортовой системой технического зрения, необходимо наличие второго ка-





нала технического зрения с аппаратурой, располагаемой вне локомотива. В данном канале также необходимо использовать многократные измерения расстояния до места препятствия.

3. Выбор числа измерений в каждом канале с целью обоснования безусловного выполнения показателя безопасности не осуществляется по методике, рассмотренной в данной работе.

4. Длина защитного промежутка перед препятствием равна сумме максимальной по модулю величины отрицательной погрешности расчёта тормозного пути и максимального значения положительной величины погрешности измерения расстояния до препятствия. Выбор этих величин определяется требованиями безусловного выполнения норм безопасности.

5. Рассматриваемые способы выбора максимальных значений случайных погрешностей измерений и расчётов, величины которых могут быть превышены с весьма малыми вероятностями, соответствующими «хвостам» функций плотности распределения вероятности, могут быть использованы в решении различных прикладных задач управления движением на транспорте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Matthies, Larry. Obstacle Detection, 2014. In: Ikeuchi K. (ed). Computer Vision. Springer, Boston, MA. DOI: 10.1007/978-0-387-31439-6_52.
2. Jain, R., Tamgadge, P., Swaroopa, R., Bhure, P., Shah, S., Pote, R. Simulation of Obstacle Detection of an Autonomous Car. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, 2021, pp. 430–435. DOI: 10.48175/IJARSC-1420.
3. Asuka, Masashi; Kataoka, Kenji; Komaya, Kiyotoshi; Nishida, Syogo. Automatic Train Operation Using Autonomic Prediction of Train Runs. IEEE Transactions on Industry Applications, 2008, Vol. 128, pp. 1365–1372. DOI: 10.1541/ieejias.128.1365.
4. Chen Zhang; Xuewu Xu; Chen Fan; Guoping Wang. Literature Review of Machine Vision in Application Field. E3S Web of Conferences, 2021, Vol. 236, pp. 04027. DOI: 202123604027.
5. Zhongfei Zhang, Weiss, R., Hanson, A. R. Obstacle detection based on qualitative and quantitative 3D reconstruction. IEEE Transactions on Pattern Analysis and

Machine Intelligence, 1997, Vol. 19, pp. 15–26. DOI: 10.1109/34.566807.

6. Feiden, D., Tetzlaff, R. Cellular neural networks for motion estimation and obstacle detection. Adv. Radio Sci., 2003, Vol. 1, pp. 143–147. DOI: <https://doi.org/10.5194/ars-1-143-2003>.

7. Lourenço, A., Marques, F., Santana, P., Barata, J. A volumetric representation for obstacle detection in vegetated terrain, 2014. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2014), 2014, pp. 283–290, DOI: 10.1109/ROBIO.2014.7090344.

8. Bernini, N., Bertozzi, M., Castangia, L., Patander, M., Sabbatelli, M. Real-time obstacle detection using stereo vision for autonomous ground vehicles: A survey. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014, pp. 873–878. DOI: 10.1109/ITSC.2014.6957799.

9. Takahashi, Katsuhiko. Obstacle detection device and method and obstacle detection system, 2014. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/302747500_Obstacle_detection_device_and_method_and_obstacle_detection_system. Доступ 16.11.2021.

10. Khan, Umair; Fasih, Alireza; Kyamakya, Kyandoghre; Chedjou, J. Genetic Algorithm Based Template Optimization for a Vision System: Obstacle Detection, 2009. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/228347428_Genetic_Algorithm_Based_Template_Optimization_for_a_Vision_System_Obstacle_Detection. Доступ 16.11.2021.

11. Охотников А. Л., Чернин М. А. Разработка систем для автономного подвижного состава // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 21–24. DOI: 10.34649/AT.2021.11.11.006.

12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учебник. – 12-е изд., стер. – М.: Юстиция, 2018. – 658 с. ISBN 978-5-4365-1927-2.

13. Баранов Л. А. Оценка интервала попутного следования поездов для систем безопасности движения на базе радиоканала // Мир транспорта. – 2015. – № 2. – С. 6–24. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/260>. Доступ 16.11.2021.

14. Баранов Л. А., Головичер Я. М., Ерофеев Е. В., Максимов В. М. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Под ред. Л. А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с. ISBN 5-277-00964-7.

15. Бестемьянов П. Ф. Методы повышения безопасности микропроцессорных систем интервального регулирования движения поездов // Автореф. дис... докт. техн. наук. – М.: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ), 2001. – 48 с.

16. Никифоров Б. Д., Головин В. И., Кутыев Ю. Г. Автоматизация управления движением поездов. – М.: Транспорт, 1985. – 263 с.

17. Pudovikov, O. E., Kiselev, M. D. Optimization of Parameters of Automatic Speed Control System of a Freight Train with Distributed Traction. Russian Electrical Engineering, 2020, Vol. 91, No. 9, pp. 568–576. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45136886>. Доступ 16.11.2021.

18. Батенко А. П. Управление конечным состоянием движущихся объектов. – М.: Сов. Радио, 1977. – 256 с. ●

Информация об авторах:

Баранов Леонид Аврамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, Baranov.mii@gmail.com.

Бестемьянов Пётр Филимонович – доктор технических наук, профессор, директор Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта, Москва, Россия, ilemsmiit@yandex.ru.

Балакина Екатерина Петровна – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, balakina_e@list.ru.

Охотников Андрей Леонидович – заместитель начальника Департамента – начальник Отдела стратегического развития Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия, a.ohotnikov@vniia.ru.

Статья поступила в редакцию 16.11.2021, одобрена после рецензирования 23.12.2021, принята к публикации 27.12.2021.



Математическая модель транспортного поведения на основе теории транспортных макросистем



Игорь АГУРЕЕВ



Андрей АХРОМЕШИН

*Игорь Евгеньевич Агуреев¹,
Андрей Владимирович Ахромешин²*

*^{1, 2} Тульский государственный университет (ТулГУ),
Тула, Россия.*

✉ ¹ agureev-igor@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В продолжение исследования, целью которого была разработка нового подхода к определению транспортного поведения жителей городских агломераций, наметить главные пути его развития, предложено новое описание транспортного поведения с позиций самых разных научных дисциплин и теории макросистем.

Это, по мнению авторов, закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует.

Разработана математическая модель транспортного поведения, которая основана на положениях теории макросистем академика Ю. С. Полкова, с использованием

энтропийного подхода при определении равновесного состояния транспортной системы. При этом в модели определён первоначальный список параметров, отвечающих за описание «транспортного поведения». Последнее рассматривается как коллективный феномен, создающий детерминированное представление, возникающее в результате взаимодействия множества стохастически действующих элементов (участников дорожного движения).

Составлена предварительная схема решения задачи о поиске неизвестных системы уравнений и неравенств в модели.

Ключевые слова: транспортная система, теория макросистем, транспортное поведение, математическая модель, энтропийный подход.

Благодарности. Настоящая работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-48- 710015/20 р_а.

Для цитирования: Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Математическая модель транспортного поведения на основе теории транспортных макросистем // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-2>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы

В статье [1] был представлен новый подход к определению транспортного поведения населения городских агломераций, намечены основные векторы развития данной тематики, а также предложен «новый подход к описанию транспортного поведения с позиций различных научных дисциплин, теории макросистем, что закладывает базис для создания теории транспортного поведения, которая в настоящее время отсутствует» [1]. *Цель* – «исследование транспортного поведения проводится на уровне «система в целом», а не отдельных её элементов, что позволяет формировать общие подходы к управлению транспортным поведением с целью достижения оптимальных характеристик функционирования транспортной системы города (агломерации). Математическое описание транспортной системы, представленное в работе, имеет общий вид, требует расширения и дополнения» [1].

Построение математических моделей на основе теории макросистем, в предположении о том, что любая транспортная система – это многокомпонентная неоднородная открытая система, «имеет научную новизну и перспективы для изучения и внедрения на практике в транспортной отрасли. Актуальной задачей на этом пути является изучение природы коллективного поведения с позиций влияния мотивов при принятии решения о поездке и возникновения пространственных структур перемещений пассажиров и транспортных средств, т.е. образование пассажиропотоков и потоков транспорта, а также рассмотрение понятия ТП с точки зрения психологии, социологии и урбанистики» [1]. При этом построение соответствующей математической модели должно каким-то образом отражать особенности индивидуального поведения на уровне системы в целом.

Настоящая работа является продолжением работы [1].

Формирование представления о передвижениях населения на данный момент складывается из четырёх типов поездок [2–5]: «передвижения от мест жительства к местам приложения труда и обратно (так называемые трудовые корреспонденции); передвижения от мест жительства к местам культурно-бытового обслуживания (магазинам и др.) и обратно; передвижения, совершаемые между местами приложений труда (деловые

поездки); передвижения, совершаемые между объектами культурно-бытового обслуживания. В литературе наиболее широко представлены следующие способы расчёта корреспонденций» [2]:

- нормативные [6];
- статистические [6];
- гравитационная модель [3];
- энтропийные модели [4; 5];
- модели самоорганизующихся потоков [7];
- метод конкурирующих центров [8];
- модель промежуточных возможностей

Стоуффера [8] и др.

Выводы по рассмотренным выше публикациям могут быть сделаны следующие:

1) транспортное поведение может быть рассмотрено с различных позиций, а именно, с точки зрения факторов, обуславливающих выбор вида передвижения в соответствии с определёнными целями поездок;

2) транспортное поведение может быть исследовано различными методами, в частности, с помощью метода графов связей описывается общая картина подвижности индивидов по целям, времени, дальности поездки и виду используемого транспорта;

3) коллективное транспортное поведение есть результат взаимодействия отдельных транспортных процессов каждого из пассажиров;

4) имеется конструктивный термин «паттерн ежедневной индивидуальной активности пассажира», лежащий в основе изучения закономерностей в поведении пассажиров и согласующийся с предложенным ранее авторами в [1] понятием транспортной системы индивидуальных перемещений (ТСИП);

5) подтверждается целесообразность изучения транспортного поведения с помощью теории транспортных макросистем.

Важно отметить, что в отечественной и зарубежной литературе мало информации о том, как именно пассажир принимает решение о том, совершит он поездку или нет, то есть поведенческие модели практически не исследуются.

Краткие сведения о современном состоянии исследований транспортного поведения [9–14]

«Транспортное поведение имеет сложную природу, описание данного термина связано с определением понятий «транспортная подвижность (мобильность) населения» [1].

«Транспортное поведение как феномен отличается следующими свойствами, которые относятся к коллективному уровню его описания:

- 1) стохастическая природа;
- 2) множество участников, определяющих характеристики транспортного поведения;
- 3) множественность факторов выбора, формирующих динамику феномена;
- 4) междисциплинарность как база знаний для изучения данного предмета. Проблему транспортного поведения необходимо рассматривать тоже комплексно, исследовать не только в рамках транспортной науки (теории пассажирских перевозок), но и смежных областей знаний, таких как: социология, урбанистика, экономика» [1] и т.д.

В настоящей работе нас, прежде всего, интересуют измеримые параметры транспортного поведения, которые могли бы войти в состав математической модели как исходное данное, либо быть вычисленными с её помощью. К таким параметрам следует отнести:

- 1) коэффициент расщепления по видам транспорта, используемым населением на моделируемом отрезке времени;
- 2) коэффициент расщепления по целям поездки;
- 3) распределение корреспонденций по конкретным маршрутам;
- 4) коэффициент пересадочности;
- 5) распределение поездок по дальности;
- 6) распределение времени ожидания пассажиров на остановочных пунктах;
- 7) пассажирообмены на остановочных пунктах как функция времени и др.

Необходимый и достаточный перечень параметров, которые однозначно характеризуют транспортное поведение в составе математической модели, предстоит выявить и обосновать в результате дальнейших исследований и расчётов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическая модель транспортного поведения (вариант)

Транспортное поведение в целом может быть описано с помощью математического аппарата теории макросистем, так как транспортное поведение индивидуального пассажира (как элемента ТСИП) «имеет случайную природу, практически не подвергается описанию, а в некоторых случаях и логике. Поведение одного пассажира

имеет частный случай», в то «время, как практический интерес для управления, планирования и развития транспортной системы города (агломерации) представляет описание транспортного поведения групп пассажиров с целью выдачи практических рекомендаций» [1].

В статье [1] приведена математическая модель, которая в наиболее общем случае описывает транспортную систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\Gamma} = \bar{\Gamma}(t); \\ \rho = \rho(t); \\ q = q(t); \\ \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \Delta\tau = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_k; \\ V(t) = \left\{ V_1, \dots, V_a, \dots, V_p : V_a = \sum_{v=1}^{v_f} n_v(t) \mid v \in p_a \right\}; \\ v = 1, \dots, v_f(t); \\ \pi_v = \pi_v(t); \\ \Pi(t) = \{\pi_1(t), \dots, \pi_p(t), \dots, \pi_{v_f}(t)\}; \\ G(t) = g_v \otimes \Pi(t) \leq G^*; \\ H(V \bullet (\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m V_n \ln \frac{V_n}{a_n} - (G_n + V_n) \ln (G_n + V_n) \rightarrow \max, \end{array} \right. \quad (1)$$

где k – индекс (номер) интервала времени $\Delta\tau_k$;

K – число временных интервалов $\Delta\tau_k$;

$\bar{\Gamma}$ – граф УДС;

ρ – матрица транспортных связей;

q – матрица действующих провозных (пропускных) способностей;

t – непрерывное время;

$V(t)$ – множество, каждый из элементов которого равен числу автомобилей (транспортных средств), находящихся в момент времени t на маршруте (или формирующих корреспонденцию) a ;

v – индекс автомобиля (его уникальный идентификатор);

$v_f = N_a$ – наибольший индекс автомобиля, соответствующий количеству транспортных средств в текущий момент времени;

p – общее число маршрутов (корреспонденций);

n_v – булева переменная, которая определяется соотношением (2) и равна 1, если ТС находится на маршруте p_a и 0 в противном случае;

p_a – a -й маршрут;

π_v – уравнение транспортного процесса для автомобиля, определяющее долю выполненного транспортного процесса (транспортной работы);

$\Pi(t)$ – множество, состоящее из отдельных уравнений транспортного процесса;



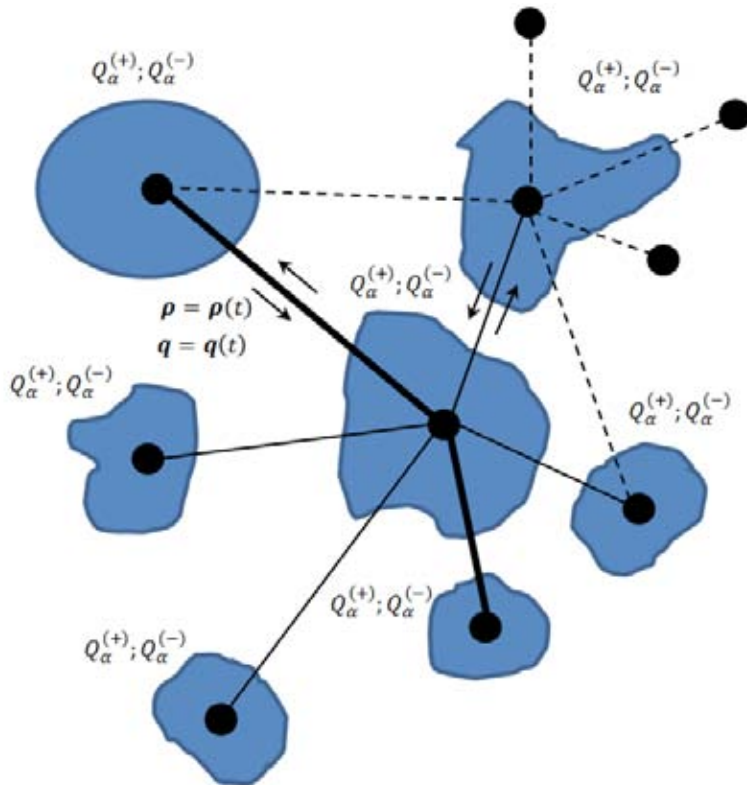


Рис. 1. Схема транспортных связей (корреспонденций) между районами [выполнено авторами].

β – индекс транспортного процесса;
 $G(t)$ – векторная функция расходования ресурса (-ов);
 g_i – вектор удельных расходов ресурса для каждого автомобиля;
 H – информационная энтропия транспортной системы;
 G^* – вектор ограничений на расход ресурсов;
 a_n – априорные вероятности нахождения элемента в состоянии n ;
 G_n – ёмкость состояния n ;
 n – порядковый номер состояния элементов;
 m – общее число различных состояний.

В теории макросистем существует несколько способов заполнения состояний системы (Ю. С. Попков [5]). Для расчёта информационной энтропии H в системе (1) выбрана статистика Эйнштейна–Бозе как наиболее предпочтительная. Данная статистика означает, что в одном и том же состоянии может находиться большое (в пределе – бесконечное) число элементов. Например, на одном и том же маршруте одновременно может находиться достаточно большое число транспортных средств, чтобы обоснованно применять данную статистику.

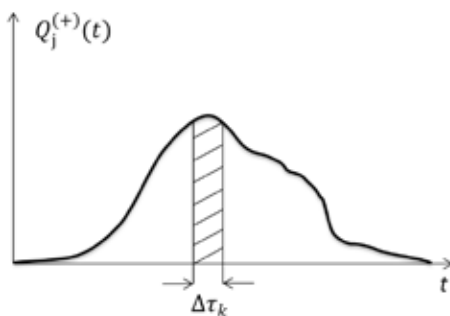


Рис. 2. Зависимость интенсивности источника транспорта [выполнено авторами].

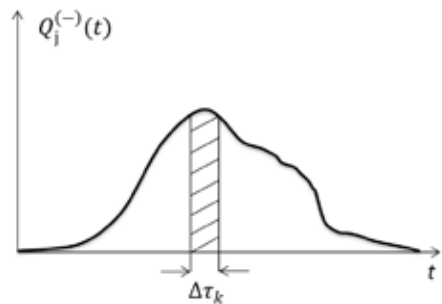


Рис. 3. Зависимость интенсивности стока транспорта [выполнено авторами].

Система уравнений и ограничений (1) решается численными методами с целью поиска равновесного состояния (максимум информационной энтропии), которое даёт распределение элементов множества $V(t)$ по корреспонденциям. Эти элементы являются основными неизвестными системы (1).

Схема корреспонденций в системе представлена на рис. 1.

Далее,

$$n(t) = f(x) = \begin{cases} 1, v \in p_\alpha \\ 0, v \notin p_\alpha \end{cases} \quad (2)$$

Для замыкания системы (1) к ней необходимо добавить ряд элементов:

1) Характеристики источников транспорта могут быть записаны в виде (3) и дают возможность рассчитать число транспортных средств (ТС), «сгенерированных» за любой интервал времени (рис. 2 и 4):

$$Q_i^{(+)} = Q_i^{(+)}(t); \quad (3)$$

2) Характеристика стока (центра поглощения, центра массового тяготения), находящегося в конце маршрута α (рис. 3);

3) Уравнение баланса автомобилей, находящихся на маршруте α :

$$V_\alpha \Big|_{\Delta\tau_k} = V_\alpha \Big|_{\Delta\tau_{k-1}} + \Delta V_\alpha^{(+)} \Big|_{\Delta\tau_k} - \Delta V_\alpha^{(-)} \Big|_{\Delta\tau_k}, \quad (4)$$

где учитывается количество автомобилей, вышедших на маршрут на отрезке времени $\Delta\tau_k$ (рис. 2):

$$\Delta V_\alpha^{(+)} \Big|_{\Delta\tau_k} = \int_{\Delta\tau_k} Q_\alpha^{(+)}(t) dt. \quad (5)$$

Количество автомобилей, закончивших транспортный процесс маршрута на отрезке времени $\Delta\tau_k$ (рис. 3):

$$\Delta V_\alpha^{(-)} \Big|_{\Delta\tau_k} = \int_{\Delta\tau_k} Q_\alpha^{(-)}(t) dt. \quad (6)$$

Таким образом, переменными величинами, требующими вычислений, в модели (1) являются члены множеств: а) $V(t)$; б) $\Pi(t)$.

Для поиска неизвестных необходимо на каждом шаге $\Delta\tau_k$ решать задачу, содержащую расчет:

- 1) $Q_i^{(+)}$;
- 2) $Q_i^{(-)}$, то есть объемы отправок и прибытий для всех транспортных районов;
- 3) H_{\max} – максимальное значение энтропии, при соответствующем распределении элементов множеств $V(t)$ по маршрутам p_α предположительно учитывающее только те транспортные средства, которые достигли цели поездки ($\pi_v = 1$);
- 4) элементов множества $\Pi(t)$, что требует дополнительных условий о скорости движения транспортных средств;

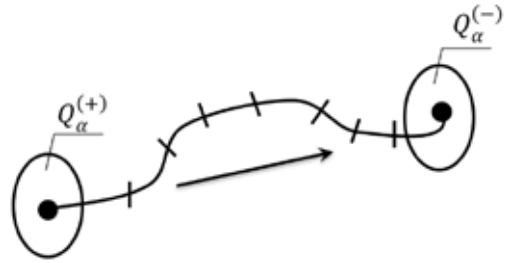


Рис. 4. Схема маршрута [выполнено авторами].

5) априорных вероятностей, которые предположительно отражают обобщенную стоимость (цену) поездки.

Таким образом, дополнительно требуется ввести в описание формулу для расчета априорных вероятностей $p_1, p_2, \dots, p_\alpha$, а также способ учета \mathcal{E}_β^* (обобщенная цена поездки).

ВЫВОДЫ

Разработанная в настоящей работе в рамках макросистемного подхода [15] математическая модель транспортного поведения на данном этапе требует в качестве априорной информации знания следующих параметров:

- 1) коэффициента расщепления по видам транспорта, используемым населением на моделируемом отрезке времени;
- 2) коэффициента расщепления по целям поездки;
- 3) распределения корреспонденций по конкретным маршрутам.

Предполагается, что данная модель позволит определить в результате расчетов:

- 1) коэффициент пересадочности;
- 2) распределение поездок по дальности;
- 3) распределение времени ожидания пассажиров на остановочных пунктах;
- 4) пассажирообмены на остановочных пунктах как функцию времени и др.

Безусловно, в ближайшей перспективе следует получить ответы на вопросы о том, каким образом будет рассчитываться матрица корреспонденций для предложенной модели [16–18], а также о применимости энтропийных методов решения задач о равновесии транспортной системы к современным городским системам [19–23].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 2. – С. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.





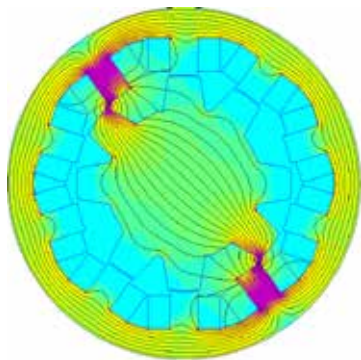
2. Алиев А. С., Стрельников А. И., Швецов В. И., Шершевский Ю. 3. Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к московской агломерации // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 11. – С. 113–125. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=at&paperid=1465&what=fullt&option_lang=rus. Доступ 19.11.2021.
3. Carrothers, G. A. P. An Historical Review of the Gravity and Potential Concepts of Human Interaction. Journal of the American Planning Association, 1956, Vol. 22, pp. 94–102. DOI: 10.1080/01944365608979229.
4. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / Пер. с англ. – М.: Наука, 1978. – 247 с.
5. Попков Ю. С. Теория макросистем: Равновесные модели. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 320 с. ISBN 5-8360-0035-2.
6. Васильева Е. В., Игудин Р. В., Лившиц В. Н. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.
7. Васильева Е. В., Левит Б. Ю., Лившиц В. Н. Нелинейные транспортные задачи на сетях. – М.: Финансы и статистика, 1972. – 103 с.
8. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 3–46. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=at&paperid=1966&what=fullt&option_lang=rus. Доступ 19.11.2021.
9. Фёдоров В. А. Транспортное поведение индивидуумов – основной источник городских транспортных проблем // Молодой учёный. – 2015. – № 18 (98). – С. 309–316. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/98/21292/>. Доступ 19.11.2021.
10. Мулеев Е. Ю. «Транспортное поведение», «Подвижность», и «Мобильность»: к вопросу о концептуальности терминов // Социологический журнал. – 2015. – Т. 21. – № 3. – С. 8–28. DOI: <https://doi.org/10.19181/socjour.2015.21.3.2375>.
11. Савельева В. Ю. Факторы формирования транспортного поведения в крупнейших городах России // Журнал «Градостроительство». – Всесоюзный научно-исследовательский институт проблем научно-технического прогресса информации в строительстве (Москва). – 2018. – № 5 (57). – С. 54–62. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35781220>. Доступ 19.11.2021.
12. Мулеев Е. Ю. Транспортное поведение населения России: краткий отчёт о социологическом исследовании. – М.: Институт экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ, 2015. – 37 с. [Электронный ресурс]: https://www.hse.ru/data/2015/03/10/1093862032/Транспортное%20поведение%20населения%20РФ_2014.pdf. Доступ 19.11.2021.
13. Mobility in cities database. Synthesis report. UITP, 2015. [Электронный ресурс]: https://cms.uitp.org/wp-content/uploads/2020/06/MCD_2015_synthesis_web_0.pdf. Доступ 27.12.2021.
14. Quan Liang; Jiancheng Weng; Wei Zhou; Selene Baez, Santamaria; Jianming Ma; Jian Rong. Individual Travel Behavior Modeling of Public Transport Passenger Based on Graph Construction. Hindawi Journal of Advanced Transportation, Vol. 2018, Article ID 3859830. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830>.
15. Агуреев И. Е. Развитие теории макросистем как необходимое условие повышения качества транспортного моделирования // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 6–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-06-20>.
16. Гасников А. В., Гасникова Е. В., Мендель М. А., Чепурченко К. В. Эволюционные выводы энтропийной модели расчёта матрицы корреспонденций // Математическое моделирование. – 2016. – Т. 28. – С. 1–16. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=mm&paperid=3724&what=fullt&option_lang=rus. Доступ 19.11.2021.
17. Имельбаев Ш. С., Шмульян Б. Л. Моделирование стохастических коммуникационных систем // Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – С. 170–233. [Электронный ресурс]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jrnid=at&paperid=7358&what=fullt&option_lang=rus. Доступ 19.11.2021.
18. Гасникова Е. В. О возможной динамике в модели расчёта матрицы корреспонденций // Введение в математическое моделирование транспортных потоков / Под ред. А. В. Гасникова и др. – 2-е изд. – М.: Московский центр непрерывного математического образования, 2013. – С. 248–270. ISBN 9785443921501. [Электронный ресурс]: <https://ru.ptlib.org/dl/2899886/f9150c>. Доступ 19.11.2021.
19. Нестеров Ю. Е., Шпирко С. В. Стохастическое транспортное равновесие // Введение в математическое моделирование транспортных потоков / Под ред. А. В. Гасникова и др. – 2-е изд. – М.: Московский центр непрерывного математического образования, 2013. – С. 314–324. ISBN 9785443921501. [Электронный ресурс]: <https://ru.ptlib.org/dl/2899886/f9150c>. Доступ 19.11.2021.
20. Wilson, A. G. Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. London, New York, 2000. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
21. Dearden, J., Wilson, A. Exploring urban retail phase transition – 1: an analysis system. UCL, Working Papers Series, July, 2008. Paper 140. [Электронный ресурс]: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/15193/1/15193.pdf>. Доступ 19.11.2021.
22. Wilson, A. G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. In: Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 11–31. DOI: 10.1007/978-3-642-01554-0_2.
23. Purvis, B., Mao, Yo., Robinson, D. Entropy and its Application to Urban Systems. Entropy, 2019, Vol. 21, 56 p. DOI: 10.3390/e21010056. ●

Информация об авторах:

Агуреев Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства Тульского государственного университета (ТулГУ), Тула, Россия, agureev-igor@yandex.ru.

Ахромешин Андрей Владимирович – докторант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Тульского государственного университета (ТулГУ), Тула, Россия, aakhromeshin@yandex.ru

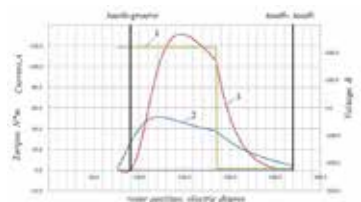
Статья поступила в редакцию 07.11.2021, одобрена после рецензирования 20.12.2021, принята к публикации 27.12.2021.



АВТОМАТИЗАЦИЯ

20

Управление транспортными аппаратами и средствами должно быть оптимальным во всех средах, в том числе и под водой. Автоматизация управления электроприводом обитаемого подводного аппарата рассматривается на примере двигателя типа SRM.



НАУКА И ТЕХНИКА

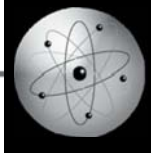


ГАЗОТУРБОВОЗЫ И ВСМ

26

Моторвагонные поезда, работающие на силовых газотурбинных двигателях (ГТД) и электрической передаче переменного-переменного тока, для использования на высокоскоростных железнодорожных магистралях. Анализ сравнительных преимуществ и более раннего опыта.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.257-83:551.46

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-3>

Автоматизация управления электроприводом обитаемого подводного аппарата



Александр ПЕТРУШИН



Владислав СМАЧНЫЙ



Владимир ЛОБЫНЦЕВ



Сергей ФОКИН

Александр Дмитриевич Петрушин¹, Владислав Юрьевич Смачный²,
Владимир Васильевич Лобынцев³, Сергей Георгиевич Фокин⁴

^{1, 2} Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия.

³ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

⁴ Центр подводных исследований Русского географического общества, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹alex331685@yandex.ru, ²smachney87@mail.ru, ³Lobzik-v@yandex.ru, ⁴s.fokin@urc-rgs.ru.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время происходит интенсивное развитие обитаемых и необитаемых подводных аппаратов благодаря освоению шельфовых нефтегазовых месторождений, развитию подводной археологии и геологоразведочной деятельности в транзитных зонах относительно добычи полезных ископаемых с морского дна. Глубина погружения и характер выполняемых подводно-технических работ определяют не только конструктивное исполнение подводного аппарата, его энерговооруженность и техническую оснащенность, но и предъявляют высокие требования по надежности, живучести и обитаемости в случае, если подводный аппарат подразумевает нахождение оператора на борту внутри прочного корпуса. Основные цели проведенного авторами исследования – это достижение высоких показателей надежности и живучести основных элементов двукратно-рулевого комплекса, обеспечивающих движение обитаемого подводного аппарата в толще воды, его позиционирование и удержание в заданной точке акватории.

Для этого была проведена разработка автоматизированной системы управления электроприводом двигателей обитаемого подводного аппарата. Предложена блок-схема системы управления движением, разработаны схемотехнические решения с использованием силовых полупроводниковых приборов для поддержания работоспособ-

ности электропривода в экстремальных и аварийных условиях эксплуатации, разработаны алгоритмы управления движением. Электромагнитные расчеты активной части электрической машины выполнены методом конечных элементов с учетом геометрических особенностей зубцовой зоны ротора и статора. На основе предложенного математического аппарата рассчитаны оптимальные управляющие воздействия электроприводом и дана количественная оценка по снижению электрических потерь при оптимальном управлении. Расчет оптимальных параметров управления осуществляется с помощью принципа максимума. Начальные условия для вспомогательных функций определены методом Ньютона-Рафсона. Проведено сравнение различных режимов работы электропривода с их влиянием на продолжительность кампании и другие показатели.

В проведенных расчетах не учитывались параметры и геометрия движителя – гребного винта, потому как разработчики систем электропривода обитаемых и необитаемых подводных аппаратов различного класса часто намеренно идут на снижение коэффициента полезного действия винта в угоду увеличению частоты вращения вала электродвигателя, следствием чего является снижение габаритов и массы последнего.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, обитаемый подводный аппарат, надежность, энергоэффективность, оптимизация, отказоустойчивость.

Для цитирования: Петрушин А. Д., Смачный В. Ю., Лобынцев В. В., Фокин С. Г. Автоматизация управления электроприводом обитаемого подводного аппарата // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 20–25. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-3>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные информационные технологии с функциями автоматизированного управления являются обязательным атрибутом в специализированной транспортной технике при производстве работ в чужеродных для жизнедеятельности человека средах, в том числе под водой. Высокая степень риска выполнения подводно-технических работ предъявляет исключительную требовательность к надёжности узлов, деталей и систем, живучести обитаемого подводного аппарата (ОПА) в целом.

При наличии определённых успехов в проектировании и создании отечественных ОПА на различные глубины погружения с объективной доминантой электротехнической компоненты, остаётся комплекс вопросов по увеличению энергоэффективности с продлением длительности кампании, оптимизации стоимости изготовления, обеспечению конкурентоспособности на мировом рынке.

Актуальность и анализ состояния проблемы

Стремление к исследованию мирового океана привело к созданию двух ОПА, единой погрузившихся в наиболее глубоком месте Марианского жёлоба – бездне Челленджера: батискафа «Trieste» и глубоководного аппарата «Deepsea Challenger», рассчитанных на максимальную глубину в 11000 м [1]. Проведение подводно-технических работ по обследованию состояния, ремонту и восстановлению различных объектов, расположенных на морском дне и вблизи него, предполагает использование глубоководной техники, в том числе обитаемых подводных аппаратов (ОПА)¹.

В рамках проведения IX Петербургского международного газового форума на выставочной экспозиции «Наука и инновации» ПАО «Газпром» вниманию публики был представлен отечественный ОПА проекта 03660 с прозрачным сферическим прочным корпусом, предназначенный для выполнения подводно-технических работ на морских магистральных газопроводах. Проект реализуется ПАО «Газпром» с привлечением НИЦ «Курчатовский институт», Санкт-Петер-

бургского морского бюро машиностроения «Малахит» и Центра подводных исследований Русского географического общества².

Движение в толще воды, удержание на месте и маневрирование ОПА обеспечивает движительно-рулевой комплекс из двух маршевых, двух вертикальных и одной горизонтальной подруливающих колонок. В современной практике разработчики подводных аппаратов часто прибегают к снижению КПД винта за счёт увеличения частоты вращения вала двигателя в целях оптимизации его габаритов и массы для достижения требуемых параметров обтекания при заданной величине тягового усилия. В связи с этим, несмотря на развитие водомётных систем, способных наделять ОПА большей манёвренностью, в силу разного рода причин основным эффективным видом движителей продолжают оставаться винты [2].

В качестве привода движителей в зависимости от требований к эксплуатации могут применяться: электродвигатели постоянного тока, асинхронные и синхронные электрические машины, в том числе с использованием постоянных магнитов в роторе традиционной компоновки и кольцевого типа, сухого или маслonaполненного исполнения с системой компенсации забортного давления; реже – электродвигатели открытого типа и гидромоторы. Электродвигатели переменного тока не имеют коллекторов, позволяя плавно регулировать частоту вращения вала, но требуют относительно более сложной системы управления. При этом эксплуатационные характеристики и эффективность ОПА непосредственно зависят от параметров привода движителя³.

Постановка задачи и методы исследования

На рис. 1 представлена блок-схема системы автоматизированного управления движительно-рулевым комплексом ОПА, призванная повысить его надёжность, живучесть и улучшить динамические характеристики. Диалоговые органы дистанционного управ-

² Отечественный обитаемый подводный аппарат. [Электронный ресурс]: <https://urc-rgs.ru/activity/project?id=9>. Доступ 22.08.2021.

³ Отечественные движители для подводных аппаратов. Материал из журнала «www.Korabel.ru». [Электронный ресурс]: https://www.korabel.ru/news/comments/otechestvennye_dvizhiteli_dlya_podvodnyh_apparátov.html. Доступ 22.08.2021.

¹ На дно океана: топ-5 российских глубоководных аппаратов. [Электронный ресурс]: <https://tvzvezda.ru/news/201707121549-v8fk.htm>. Доступ 22.08.2021.





Рис. 1. Блок-схема системы управления движением ОПА [выполнено авторами].

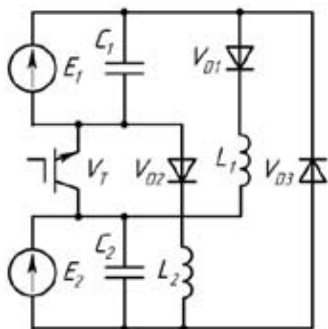


Рис. 2. Силовой контур одной фазы SRM [выполнено авторами].

ления посредством прямых и обратных связей позволяют задавать, контролировать и оперативно корректировать параметры движения путём воздействия на микропроцессорную систему с автоматической визуализацией отклика. Микропроцессорная система обеспечивает связь со всеми элементами электропривода, реализуя в автоматическом режиме выход на заданные параметры движения или позиционирования в заданной точке с оптимизацией алгоритмов управления, совокупно выполняет диагностические, защитные и информационные функции.

В качестве прототипа электропривода рассмотрен Switched Reluctance Motor (SRM). Эта электрическая машина благодаря ряду положительных качеств находит применение на различных транспортных средствах [3–5]. Обладая простотой конструкции и надёжностью, SRM имеет высокое значение КПД, что важно для анализа длительности кампаний, времени хода на марше и дальности плавания на расчётной глубине погружения.

Для обеспечения высокого уровня живучести движительно-рулевого комплекса силовые контуры системы управления электроприводом, соединяющие фазы электрической

машины с источником питания, должны быть реализованы с использованием гальванической развязки. Источник питания секционирован, независимая секция работает на отдельную фазу SRM. При такой структуре силовой части выход из строя любого элемента: обмотки, полупроводникового компонента, секции источника питания не приводит к взаимосвязанным отказам и не влияет на работоспособность остальных фаз электропривода, а повреждённый узел движительно-рулевого комплекса сохраняет живучесть с частичной потерей мощности. В таком случае силовой контур питания одной фазы SRM (рис. 2) будет иметь один полупроводниковый ключ V_T , обеспечивающий возможность формирования двух контуров подводящего к обмотке напряжения: положительного с поступлением энергии в электромагнитный контур и отрицательного с возвратом энергии в источник по завершении цикла коммутации [6].

На рис. 3 представлена спроектированная авторами публикации активная часть SRM, оптимизированная при помощи метода Монте-Карло по критерию максимума электромагнитного момента в заданном геометрическом объёме с размещением всех элементов электродвигателя и учётом его наружного исполнения. Зубцовая зона SRM сформирована с использованием средств оптимального проектирования при криволинейной форме воздушного зазора между статором и ротором [7]. Зубцовая зона выбрана из соотношения десяти зубцов статора и восьми зубцов ротора [8]. При такой конструкции магнитопровода зубцы ротора разделены на зубцовые фрагменты, а угол между осями зубцов ротора в каждом фрагменте равен углу между осями всех равномерно распределённых зубцов статора. Зубцы статора с размещёнными

ми на них катушками равномерно распределены по внутренней поверхности статора.

В проведённом исследовании была поставлена задача обеспечения энергоэффективности работы SRM путём управления электрической машиной по оптимальному алгоритму, который позволяет существенно снизить электрические потери в обмотке при электромеханическом преобразовании энергии.

Расчёты проведены для электрической машины с номинальной мощностью 5 кВт и частотой вращения 500 с^{-1} , момент инерции ротора и присоединённых к нему вращающихся частей $0,25\text{ кг}\cdot\text{м}^2$, напряжение питания 220 В для варианта питания прямоугольными импульсами напряжения и 400 В для питания обмоток при оптимальном управлении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Теоретическая часть

Математическая модель SRM составлена при допущении, что магнитная связь между фазами отсутствует. Уравнения Кирхгофа электрической цепи для первой фазы обмотки имеет вид [9]:

$$V = R_s i_1 + \frac{d\psi_1(\theta, i_1)}{dt}, \quad (1)$$

где V – напряжение питания фазы, В;

i_1 – ток первой фазы, А;

R_s – активное сопротивление каждой фазы, Ом;

$\Psi_1(\theta, i)$ – потокосцепление первой фазы, зависящее от угла поворота ротора θ , эл. град., и тока i ;

t – время, с.

Уравнение (1), выраженное через параметры SRM и приведённое к форме Коши, представлено в следующем виде:

$$\frac{di_1}{d\theta} = \frac{1}{\omega \cdot Z_r \cdot L_1} \cdot (V - i_1 R_s - i_1 \cdot \omega \cdot Z_r \cdot \frac{dL_1}{d\theta}), \quad (2)$$

где ω – угловая частота вращения, с^{-1} ;

Z_r – количество зубцов ротора.

Уравнение движения представлено в виде:

$$\frac{d\omega}{d\theta} = \frac{1}{J \cdot \omega \cdot Z_r} (T_e - T_r), \quad (3)$$

где n – число фаз SRM;

J – момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

T_m – электромагнитный момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

T_r – момент сопротивления на валу, $\text{Н}\cdot\text{м}$.

Для определения оптимальных управляющих воздействий SRM был использован принцип максимума. В качестве критерия

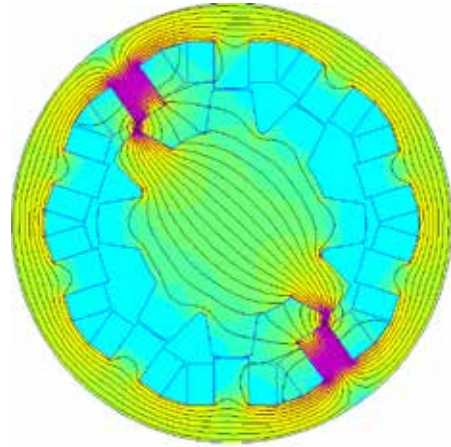


Рис. 3. Активная часть SRM с возбуждённой одной фазой [выполнено авторами].

оптимизации выбран квадрат подводимого напряжения к обмотке статора [10]:

$$J_k = \int_{\theta_1}^{\theta_2} V^2 d\theta. \quad (4)$$

Для линейных электрических цепей критерий (4) позволяет получить минимальные электрические потери. Однако SRM работает с периодическим насыщением магнитопровода, имеющего нелинейную кривую намагничивания, поэтому критерий (4) не будет соответствовать минимуму электрических потерь, но, как показали расчёты, позволит существенно их снизить.

Зависимость питающего напряжения от угла поворота ротора выбрана в качестве управляющего воздействия [11]. На стадии оптимизации приняты следующие допущения: зависимость индуктивности от угла поворота ротора аппроксимирована гармонической функцией, насыщение магнитопровода не учитывалось, тогда промежуточная функция H согласно принципу максимума имеет следующий вид:

$$H = \left[\frac{1}{\omega \cdot Z_r \cdot L_1} \cdot (V - i_1 R_s - i_1 \cdot \omega \cdot Z_r \cdot \frac{dL_1}{d\theta}) \right] \Psi_1 + \left[\frac{1}{J \cdot \omega \cdot Z_r} \cdot \left(\sum_1^n \frac{Z_r \cdot i_i^2}{2} \cdot \frac{dL_i}{d\theta} - T_r \right) \right] \Psi_2 + V^2.$$

Определим оптимальное напряжение питания V^* как частную производную от промежуточной функции по управляющему воздействию V :

$$V^* = \frac{\Psi_1}{2 \cdot L \cdot \omega \cdot Z_r}. \quad (5)$$

Определим вспомогательные функции Ψ_1 и Ψ_2 :



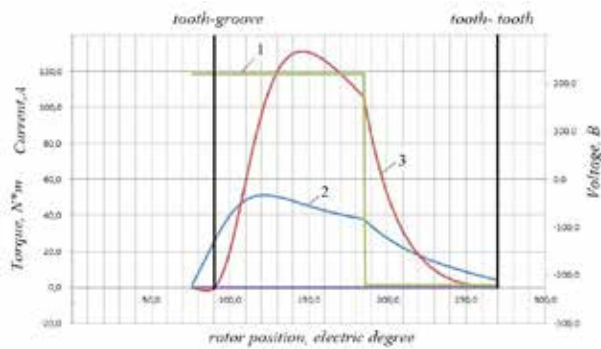


Рис. 4. Параметры фазы SRM при питании импульсами постоянного тока: 1 – напряжение питания, 2 – ток, 3 – электромагнитный момент [выполнено авторами].

$$\begin{cases} \frac{d\psi_1}{d\theta} = \psi_1 \left(\frac{R_s}{L \cdot \omega \cdot Z_r} + \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{d\theta} \right) - \frac{i_1 \cdot \psi_2}{J \cdot \omega} \cdot \frac{dL}{d\theta} \\ \frac{d\psi_2}{d\theta} = \frac{\psi_1}{L \cdot \omega^2} (V - i_1 R_s) + \frac{\psi_2}{J \cdot \omega^2} \left(\frac{i_1^2}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} - T_R \right). \end{cases} \quad (6)$$

При решении задачи оптимизации начальные условия для вспомогательных функций определены при помощи метода Ньютона–Рафсона [12].

Результаты расчёта для управления SRM без использования алгоритма оптимизации для одной фазы обмотки статора приведены на рис. 4.

Импульсы постоянного напряжения амплитудой 220 В подавались при следующих углах управления: угол включения 15 эл. град. до положения зубец–паз и угол отключения 85 эл. град. до положения зубец–зубец.

Результаты расчёта при управлении SRM с использованием алгоритма оптимизации, при условии равной производительности с вариантом без оптимизации, приведены на рис. 5.

В оптимальном режиме ток обмотки статора SRM в отличие от режима без оптимизации не имеет явно выраженного максимума (рис. 5), а имеет пологую характеристику в диапазоне 135–185 эл. град. В оптимальном режиме при выполнении одной и той же работы электрические потери в обмотке снизились. Если электрические потери за один такт коммутации в режиме без оптимизации принять за 100 %, то в оптимальном режиме электрические потери будут на 6–7 % меньше.

Для реализации оптимального режима следует увеличить напряжение питания SRM при уменьшении ёмкости аккумуляторов из

расчёта, чтобы пространство для размещения аккумуляторных батарей осталось прежним.

Практическая значимость

Практическая реализация оптимального алгоритма управления SRM достигается с помощью программы управления микроконтроллером, которая формирует в реальном масштабе времени параметры задающих импульсов по математической модели оптимального регулирования SRM. Ток в обмотке формируется помощью широтно-импульсной модуляции (Pulse-Width Modulation, PWM). Качество формы питающего тока при оптимальном управлении SRM обеспечивается рациональным выбором параметров PWM.

Практическая значимость полученных результатов заключается в увеличении надёжности, живучести и энергоэффективности SRM электропривода движительно-рулевого комплекса, повышении качества функционирования предложенной автоматизированной системы управления движением ОПА, являющихся определяющими в эксплуатационной привлекательности и достижении конкурентоспособности на мировом рынке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная автоматизированная система управления электроприводом движительно-рулевого комплекса ОПА позволяет повысить надёжность и живучесть аппарата в целом. Использование гальванически развязанных силовых контуров, соединяющих фазы электрической машины с источником питания, дополнительно обеспечивают отказоустойчивость и работу в аварийном режиме при снижении мощности на валу.

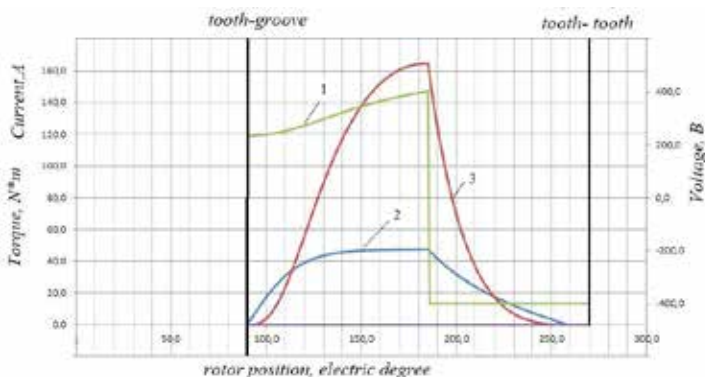


Рис. 5. Параметры фазы SRM при оптимальном алгоритме управления:
1 – напряжение питания, 2 – ток, 3 – электромагнитный момент [выполнено авторами].

Разработанный математический аппарат и проведённые с его использованием количественные оценки энергетической эффективности положительным образом отразились на возможности оптимизации потребления электроэнергии от бортового источника питания. Уменьшение электрических потерь при электромеханическом преобразовании энергии непосредственно влияет на дальность хода ОПА и длительность кампании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Григорьев А. И., Литвиненко В. В., Лапсарь С. А. Перспективные технологии глубоководных аппаратов на примере создания АНПА «Витязь» // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук, Санкт-Петербург. – 2020. – № 4. – С. 117–122. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44392933>. Доступ 22.08.2021.
- Двигательно-рулевой комплекс подводного аппарата: Морской энциклопедический словарь в двух томах / Под ред. акад. Н. Н. Исанина. Том 1. [Электронный ресурс]: <https://www.korabel.ru/dictionary/detail/409.html>. Доступ 22.08.2021.
- Kamalakkanan, C., Kamaraj, V., Paramasivam, S., Paranjothi, S. Switched reluctance machine in automotive applications – A technology status review. In: Proceedings of the 2011 1st International Conference on Electrical Energy Systems, Newport Beach (USA), 2011, pp. 187–197. DOI: 10.1109/ICEES.2011.5725326.
- Voron, Oleg A., Petrushin, Alexandr D. Improving the Energy Efficiency of Electric Machines for Specialized Railway Rolling Stock. In: 2021 XVIII International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED), Ekaterinburg, Russia. DOI: 10.1109/ACED50605.2021.9462273.
- Nuca, I., Todos, P., Esanu, V. Urban electric vehicles traction: Achievements and trends. In: Proceedings of the 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE '2012), Iași (Romania), 2012, pp. 76–81. DOI: 10.1109/ICEPE.2012.6463948.
- Petrushin, A., Smachney, V., Petrushin, D. Research of options for maintaining the operability of the traction switched reluctance motors in emergencies. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 950, Iss. 1, pp. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/950/1/012028.
- Petrushin, A. D., Kashuba, A. V. Improvement of switched reluctance motor performance using optimization algorithms. In: Proceedings of 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS 2018), Novocheboksak, October 3–6, 2018, pp. 4–7. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571756.
- Пат. № 2629753 Российская Федерация, МПК H02K 19/06. Вентильно-индукторная электрическая машина / Петрушин А. Д., Петрушин Д. А., Чавычалов М. В.; заявители и патентообладатели. – № 2016102297; заявл. 25.01.2016; опубл. 26.07.2017, бюл. № 21. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2629753C2_20170901. Доступ 22.08.2021.
- Krishnan, R. Switched Reluctance Motor Drives Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. London, CRC press, 2001, 432 p. DOI: 10.1201/9781420041644.
- Petrushin, A. D., Kashuba, A. V., Petrushin, D. A. Using Optimization Algorithms in the Design of SRM. Modelling and Control of Switched Reluctance Machines. Ed. by Rui Esteves Araújo. London, IntechOpen, 2020, 24 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89123>.
- Hamouda, M., Menaem, A. A., Rezk, H., Ibrahim, M. N. Comparative Evaluation for an Improved Direct Instantaneous Torque Control Strategy of Switched Reluctance Motor Drives for Electric Vehicles. Mathematics, 2021, Vol. 9, Iss. 4. DOI: 10.3390/math9040302.
- Casella, F., Bachmann, B. On the choice of initial guesses for the Newton–Raphson algorithm. Applied Mathematics and Computation, 2021, Vol. 398, pp. 125991. DOI: 10.1016/j.amc.2021.125991.

Информация об авторах:

Петрушин Александр Дмитриевич – доктор технических наук, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия, alex331685@yandex.ru.

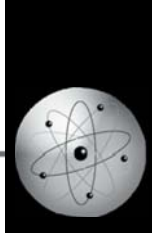
Смачный Владислав Юрьевич – ассистент кафедры технологии металлов, начальник отдела трудоустройства и мониторинга карьеры Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Россия, smachney87@mail.ru.

Лобынцев Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, Lobzik-v@yandex.ru.

Фокин Сергей Георгиевич – Исполнительный директор Центра подводных исследований Русского географического общества, Санкт-Петербург, Россия, s.fokin@urc-rgs.ru.

Статья поступила в редакцию 16.09.2021, одобрена после рецензирования 05.12.2021, принята к публикации 19.12.2021.





Применение газотурбинной тяги в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей в России



Павел ТРОИЦКИЙ

Павел Сергеевич Троицкий

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия.

✉ paveltroitskiy@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В последнее время в научной и отраслевой среде часто поднимается вопрос о целесообразности строительства в России выделенных высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) для перевозки пассажиров и грузов. Ключевым риском таких масштабных инвестиционных проектов является значительный или весьма длительный срок окупаемости, обусловленный меньшей плотностью населения в зонах пролегания предполагаемых ВСМ по сравнению, например, с КНР. Ко всему прочему, при планировании столь капиталоемких и ресурсоемких инвестиций необходимо учитывать планы развития смежных видов транспорта: скоростных автомагистралей, авиационного сообщения, как прямых конкурентов высокоскоростным и скоростным железным дорогам.

Одним из путей повышения конкурентоспособности железнодорожных ВСМ может стать снижение капитальных затрат при их строительстве. Создание ВСМ, где в качестве тягового средства будут эксплуатироваться моторвагонные поезда, работающие на силовых газотурбинных двигателях (ГТД) и электрической передаче переменного тока, позволит отказаться от инве-

стиций в дорогостоящее проектирование, строительство и последующее содержание объектов энергохозяйства, специализированной высокоскоростной контактной сети, что обеспечит удешевление проектов ВСМ, сокращение сроков строительства, ускорение окупаемости дорог.

В статье описаны преимущества эксплуатации газотурбинной тяги на высокоскоростных и скоростных железнодорожных магистралях. Показана возможная компоновка таких поездов. Рассмотрены эксплуатационные риски газотурбинного подвижного состава и пути их нейтрализации. Целью исследования является выявление сравнительных преимуществ газотурбинных моторвагонных поездов по сравнению с высокоскоростными электропоездами. В работе использованы методы сравнительного анализа, контент-анализа технической информации, ранжирования. Сделан вывод, что внедрение газотурбинной тяги позволит снизить инвестиционные и эксплуатационные расходы скоростных и высокоскоростных железных дорог при сохранении мощностных и динамических характеристик поездов.

Ключевые слова: железная дорога, газотурбинная тяга, моторвагонные поезда, турбопоезда, высокоскоростной транспорт, ускоренные грузовые перевозки.

Для цитирования: Троицкий П. С. Применение газотурбинной тяги в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей в России // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 26–30. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-4>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационный режим высокоскоростных и скоростных поездов характеризуется работой большую часть времени на номинальной мощности. Ключевую роль в движении приобретает постоянное атмосферное сопротивление, а не переменное воздействие профиля пути, поэтому на первый план выходят требования малого веса и аэродинамической формы такого подвижного состава.

Цель статьи – показать при помощи методов сравнительного анализа, контент-анализа технической информации, ранжирования концептуальную возможность замены электропоездов газотурбинными моторвагонными поездами при строительстве ВСМ с целью снижения инвестиционных и операционных затрат таких проектов.

По оценкам экспертов Научного Центра «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо–рельс» АО «ВНИИЖТ», устройство 1 км объектов тягового энергоснабжения ВСМ составляет 48 млн руб. Таким образом, при строительстве, например, ВСМ Москва–Адлер (1900 км) инвестиционные затраты снизятся на 91,2 млрд руб., что при общей оценочной стоимости магистрали в 2,5 трлн руб. сформирует экономию инвестиционных вложений порядка 4 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительные преимущества и недостатки турбопоездов с силовыми газотурбинными установками

На основе натурных и аналитических исследований выявлены следующие основные преимущества тяговых силовых установок на основе газовых турбин:

1. Высокие мощностные характеристики, работа с максимальным КПД на номинальной мощности, на которой эксплуатируются большую часть времени высокоскоростные поезда.

2. В два раза меньшая стоимость потребляемого топлива (сжиженного природного газа (СПГ)) по сравнению со стоимостью 1 кВт·ч электрической энергии.

3. Модульность конструкции, малые габариты и на порядок меньшая масса газотурбинного двигателя (ГТД), чем у тепловозного дизеля. В частности, при сравнении дизеля ПД1М маневрового тепловоза

ТЭМ18ДМ и газотурбинной силовой установки для маневрового локомотива на базе МСУ-800 снижение массы составило 12,16 раза (12,6 т против 1,04 т), снижение габаритов (общего объёма двигателя) – 10,19 раза (20,17 м³ против 1,98 м³) при сопоставимой мощности двигателей 882 и 860 кВт соответственно.

4. Доступность для осмотра, контроля и диагностики позволяют эксплуатировать ГТД по состоянию и сократить затраты на ремонт на 15–20 %, а затраты на смазочные масла до десяти раз по сравнению с дизельными установками той же мощности [1].

5. Работа ГТД хорошо согласуется с накопителями энергии, что позволяет стабилизировать режим работы двигателя в период отправления и прибытия поезда.

6. Высокая автономность и способность работы высокоскоростных турбопоездов в любых метеоусловиях, в том числе в условиях сильных ветровых нагрузок, песчаных и снежных заносов, обледенения линий электропередач.

7. Существенное улучшение экологической обстановки в зонах пролегания ВСМ. «Термодинамические и экологические преимущества газомоторного топлива по сравнению с дизельным обусловлены энергетическими и физическими показателями газа. Значения выбросов токсичных веществ по углеводородному составу и окислам азота ниже в 1,5–2 раза» [2].

8. «Газовая турбина является достаточно мягким демпфирующим элементом при динамических воздействиях, поэтому даже на мощных газотурбинных установках можно ожидать достаточно устойчивую и надёжную работу карданных систем» [2].

Следует отметить и наиболее значимые недостатки применения турбопоездов с силовыми газотурбинными установками, а также пути их устранения:

1. Необходимость размещения на подвижном составе больших ёмкостей для снабжения газом. На основании результатов проведения ряда научно-технических советов и мозговых штурмов в 2003–2005 гг. ОАО «РЖД» было принято стратегическое решение, что разработка железнодорожного подвижного состава на сжатом природном газе (СПГ) бесперспективна в первую очередь по причине обеспечения необходимой дальности хода поезда



на КПП [4] и в качестве основного вида топлива следует использовать сжиженный природный газ (СПГ), в том числе в переохлаждённом состоянии [5].

2. Высокая температура выхлопных газов газовой турбины может привести к перегреву контактного провода при работе турбопоездов на электрифицированных линиях. В связи с этим необходимо применение охладителей выхлопных газов, а также устройство выхлопных труб с направлением в сторону путевой инфраструктуры.

3. Большое потребление газа в режиме малых нагрузок, а также при запуске ГТД. В таких режимах энергоснабжение турбопоездов необходимо производить от накопителей энергии (аккумуляторных батарей, суперконденсаторов).

4. Пожаро- и взрывоопасность СПГ. «КПП в большей степени соответствует безопасности его применения, так как при утечках быстро уходит вверх, в то время как пары СПГ или нефтяные газы (пропан, бутан) собираются в нижней части кузова подвижной единицы, что требует постоянного контроля газовоздушного состояния под подвижным составом и его принудительного вентилирования» [5]. При концентрации газа в воздухе 4–15 % создаются пожаро- и взрывоопасные смеси. «Для повышения безопасности газового оборудования турбопоездов, снижения утечек газа необходимо сокращать длину поездных газопроводов, применять на них сварные соединения вместо резьбовых, сокращать число фланцевых и ниппельных соединений, снижать число устройств, встроенных в газовые трубопроводы – термометров, датчиков давления, электромагнитных клапанов, вентилялей» [5].

Преимущества применения моторвагонных поездов в грузовом движении описаны в статьях [6; 7] и заключаются в улучшении управляемости поездом, повышении разгонных и тормозных характеристик, безопасности движения, энергоэффективности данного вида тяги, росте пропускных способностей железных дорог.

Концептуальные предложения

Сравнивая мощность созданного в 2010 году в России газотурбовоза ГТb1–8500 кВт с суммарной мощностью десятивагонного высокоскоростного электро-

поезда «Сапсан» можно сделать вывод о возможности создания моторвагонного поезда на ГТД, сопоставимого по мощности моторвагонному поезду электрической тяги. Компонировка силовой установки турбопоездов с ГТД должна включать: кабину управления – силовую установку – газовый баллон – прицепные вагоны – газовый баллон – силовую установку – кабину управления. Таким образом, поезда данного типа должны иметь постоянную составность. При уменьшении массы поездов возможно отключение турбины в хвостовой части поезда. При расположении ГТД на крыше поезда наиболее просто обеспечивается процесс всасывания в компрессор чистого воздуха, удаления из турбины отработавших газов, шумоглушения и т.д. Бортовой запас газа в одной ёмкости газотурбовоза ГТb1 составляет 40 т, что достаточно для дальности хода 1400 км [8]. Таким образом, две криогенные ёмкости, расположенные в голове и хвосте турбопоезда смогут обеспечить дальность его хода без дозаправки до 2800 км. С учётом малого веса ГТД, массы криогенной ёмкости 40 т обеспечивается норматив по максимальной осевой нагрузке высокоскоростного турбопоезда до 17 тс.

Экипировка газотурбопоездов возможна двумя способами:

- заправка непосредственно в борт криогенной установки со сливной эстакады;
- использование съёмных или подключаемых к криогенным продуктопроводам цистерн. Данный вариант более технологичен и позволяет оперативно на разных станциях проводить дозаправку СПГ, однако требует больших инвестиционных и эксплуатационных вложений в газораспределительную инфраструктуру [9; 10].

Международный и российский опыт

Проекты создания турбопоездов на различных видах топлива осуществлялись в Канаде, США, Франции, СССР.

В 1968 году корпорация Canadian Rail представила семивагонный турбопоезд из алюминиевых сплавов массой 185 тонн. В головном вагоне поезда были установлены пять ГТД, мощностью 295 кВт каждый, четыре из них работали для тяги поезда, один для электроснабжения вагонов. На

Таблица 1

Оценка основных параметров автономных локомотивов

| Параметр | Силовая установка | | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|------------------------|
| | Дизельная | Газогенераторная | Газодизельная | Газотурбинная | Газотурбинная + гибрид |
| Стоимость | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| Затраты на ТО и ремонт | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Расход топлива | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Стоимость топлива | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Расход масла | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Экологичность | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Мощность | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| КПД | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Массогабаритные параметры | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Итого | 16 | 16 | 18 | 21 | 20 |

испытаниях данный турбопоезд развил скорость 274 км/ч [11].

Во Франции проект создания высокоскоростного железнодорожного сообщения первоначально ориентировался на применение газотурбинной тяги (*turbine grande vitesse TVG* – скоростная турбина). Газовая турбина была выбрана в качестве двигателя за относительно небольшой размер, а также большую удельную и выходную мощность. Однако энергетический кризис 1973 года, обусловленный ростом цен на газ, вынудил отказаться от применения турбин в пользу электротяги.

В СССР в 1970 году был построен опытный состав из двух головных моторных вагонов, оснащённых авиационным двухвальным газотурбинным двигателем. Передняя часть крыши каждого вагона имела возвышение с жалюзи, здесь располагалась силовая установка. Она состояла из газотурбинного двигателя весом 135 кг, мощностью 662 кВт, с принудительной вентиляцией и генератора с частотой вращения до 6000 об./мин, вырабатывающего ток частотой до 200 Гц. КПД поезда составлял 19 %. Расчётная скорость данного состава равнялась 180 км/ч. Запуск двигателя был электрическим, в качестве топлива использовался керосин [12].

В 2000 году в США был разработан дизельный скоростной газотурбопоезд с конструкционной скоростью 250 км/ч. Газотурбинный

двигатель обладал мощностью 3750 кВт с частотой вращения 16000 об./мин, тяговая передача переменного-переменного тока [13].

В планах оператора индийских железных дорог эксплуатация моторвагонных поездов и локомотивов для пассажирских составов на СПГ.

Помимо этого, экспериментальные локомотивы и моторвагонные поезда производились в Испании, Индонезии, США [14]. В условиях высоких цен на газ и горючее топливо проекты газомоторных турбопоездов в основном разрабатываются в нефте-, газодобывающих странах.

Оценка основных параметров автономных локомотивов

В ходе исследования проведена балльная оценка основных параметров автономных локомотивов, где 3 – наилучший показатель параметра, 1 – наихудший. Результаты представлены в таблице 1.

Таким образом, наибольшее количество баллов по результатам качественной оценки набрали локомотивы с газотурбинной и газотурбинно-гибридной установкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом потенциально неполной загрузки пропускных способностей ВСМ эксплуатация высокоскоростных и скоростных моторвагонных автономных тур-



бопоездов позволит отказаться от устройства и обслуживания дорогостоящей высокоскоростной контактной сети, то есть снизить инвестиционные и эксплуатационные затраты, реализовать потенциал применения газомоторных двигателей в России, осуществить на единой транспортной инфраструктуре, в том числе электрифицированной, смешанное грузопассажирское движение с разными скоростями. Отметим, что Россия обладает самыми большими разведанными запасами природного газа в мире (50,5 трлн м³) [15], а создание и эксплуатация турбопоездов с ГТД укладывается в правительственную стратегию развития транспорта на газомоторном топливе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зарифьян А. А., Талахадзе Т. З. Анализ эксплуатационных показателей энергетической эффективности грузовых тепловозов // Вестник РГУПС. – 2018. – № 3. – С. 46–53. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35617875>. Доступ 11.11.2021.
2. Курманова Л. С. Повышение эффективности работы тепловозов путём применения газомоторного топлива // Известия Транссиба. – 2017. – № 3 (31). – С. 23–31. [Электронный ресурс]: [http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3\(31\).pdf](http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3(31).pdf). Доступ 11.11.2021.
3. Гапанович В. А. Внедрение газомоторных локомотивов в ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 35–38. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29958751>. Доступ 11.11.2021.
4. Носырев Д. Я., Карышев Д. Ю., Кабанов П. А., Новикова В. Н. Особенности применения переохлажденного сжиженного природного газа в энергетических установках локомотивов // Вестник СамГУПС. – 2016. – № 1 (31). – С. 33–35. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25778497>. Доступ 11.11.2021.
5. Григорович Д. Н., Сиротенко И. В. Обеспечение безопасности при использовании природного газа в качестве моторного топлива на тепловозах // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 4. – С. 66–71. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19624065>. Доступ 11.11.2021.
6. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Моторвагонные грузовые электропоезда – альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ // Мир транспорта. – 2019. – № 17 (3). – С. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-81>.
7. Зайцев А. А., Троицкий П. С. Анализ снижения рисков в грузовом движении при внедрении моторвагонных грузовых электропоездов // X Международный симпозиум Eltrans-2019. – 09–11 октября 2019. – СПб.: ПГУПС, 2019. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-345-352. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43947020>. Доступ 11.11.2021.
8. Коссов В. С., Бабков Ю. В., Сазонов И. В. Локомотивы на сжиженном природном газе // Тяжёлое машиностроение. – 2016. – № 9. – С. 34–39. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27208290>. Доступ 11.11.2021.
9. Буйносов П. А., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбозов ГТ1h на перспективном полигоне северного широтного хода // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2 (74). – С. 16–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39184786>. Доступ 11.11.2021.
10. Буйносов П. А., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбозов ГТ1h // Вестник УрГУПС. – 2018. – № 3 (39). – С. 43–55. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36351456>. Доступ 11.11.2021.
11. Allen, G. F. The Worlds' Fastest Trains: From the Age of Steam to the TGV. Sparkford, Nr Yeovil, Somerset (United Kingdom). Patrick Stephens Limited, 1992, 200 p.
12. Танкеев С. В., Грачев Н. В., Чернышев М. А., Прохор Д. И. История отечественных газомоторных локомотивов // Локомотив. – 2021. – № 10. – С. 41–44. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46501839>. Доступ 06.12.2021.
13. Воронова Я. Д., Пузанов Д. А. История и перспективы развития газотурбинной тяги // Локомотив. – 2020. – № 8. – С. 43–48. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43566883>. Доступ 11.11.2021.
14. Полин П. А. Мировые тенденции применения природного газа на локомотивах // Локомотив. – 2018. – № 11. – С. 39–41. [Электронный ресурс (платный доступ)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36357080>. Доступ 11.11.2021.
15. Фофанов Г. А., Григорович Д. Н., Нестрахов А. С. Альтернативные виды топлива на подвижном составе железнодорожного транспорта / Под ред. Г. А. Фофанова. – М.: Интекст, 2008. – 144 с. ●

Информация об авторе:

Троицкий Павел Сергеевич – технический эксперт научного центра «Цифровые модели перевозок и энергосбережение» (НЦ «ЦМПЭ») Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия, paveltroickiy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.11.2021, одобрена после рецензирования 22.12.2021, принята к публикации 27.12.2021.

От редакции. Изложенные в статье предложения безусловно заслуживают внимания, в том числе в контексте экономических соображений и инвестиционных затрат, связанных со строительством высокоскоростных магистралей. Вместе с тем, данный вопрос, в том числе и в силу его относительной новизны, в настоящий момент не представляется однозначным в силу необходимости рассмотрения проблемы в комплексе, в том числе, её технико-технологических, эксплуатационных и экологических аспектов. В этой связи представленная публикация может стать хорошей основой для научной дискуссии и послужить предметом дальнейших перспективных исследований.



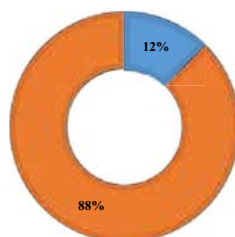
ЛОГИСТИКА НА АУТСОРСИНГЕ

32

Краткий анализ положения дел в части аутсорсинга логистических услуг в Азербайджанской Республике, сопровождаемый развёрнутыми предложениями по методологии проведения потенциально заинтересованными в использовании услуг логистического аутсорсинга предприятиями внутренней и внешней оценки, позволяющей определить обоснованность собственных потребностей и надёжность контрагентов.

| Сравниваемые факторы |
|-----------------------------------|
| Оценка ключевых навыков и опыта |
| Оценка стоимости |
| Оценка качества |
| Оценка риска |
| Расчет провозной способности |
| Расчет степени отслеживания груза |

ЭКОНОМИКА



ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ

38

Применение ситуационного анализа к сложившейся на рынке грузоперевозок в период пандемии и в период преодоления её последствий ситуации. Подходы к прогнозу влияния постпандемийной ситуации на развитие основных трендов в российской транспортной отрасли в целом и применительно к отдельным видам транспорта.

ТРАНСПОРТНЫЕ УСЛУГИ: УПРАВЛЕНИЕ ЦЕНАМИ

48

Задача формирования инструментов и механизмов аналитики для целей управления ценами услуг актуальна всегда. Обоснование использования нелинейных по параметрам функций моделирования поведения клиентов, а также алгоритмов современного инструментария глобальной математической оптимизации.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.257-83:551.46

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-5>

Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 32–37

Метод оценки услуг логистического аутсорсинга



Эльман МЕХТИ ОГЛУ НАДЖАФОВ Орхан НИЗАМИ ОГЛУ ГАСАНЛЫ

Эльман Мехти Оглу Наджафов¹,
Орхан Низами Оглу Гасанлы²

^{1, 2} Национальная Авиационная Академия, Баку,
Азербайджанская Республика.

✉ ¹ elmanmehdi@yandex.com, ² o.hasanli.n@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

Услуги аутсорсинга, широко распространённые в развитых странах, в последние годы используются на экономическом рынке Азербайджанской Республики, в основном в сферах бухгалтерского учёта, управления человеческими ресурсами, маркетинга, информационных технологий и логистики.

В нашем предыдущем исследовании «Логистика в транспортном комплексе Азербайджанской Республики» на основе 11 критериев развития логистического аутсорсинга был сделан вывод о том, что недостаточное доверие компаний друг к другу и их желание сохранить самостоятельный контроль над большинством областей деятельности являются одной из причин его слабого развития.

В предлагаемой статье представлены на обсуждение новые критерии, разработанные авторами в дополнение к уже существующим и описанным в литературе, для оценки существующих опасений компаний, возникающих перед за-

ключением взаимного соглашения в сфере аутсорсинга, и для проведения внутренней и внешней оценки услуг логистического аутсорсинга.

Учитывая, что критерии, приведённые в соответствующих работах, не в полной мере охватывают внутреннюю оценку услуг логистического аутсорсинга, авторами был предложен дополнительный критерий оценки риска. Кроме того, в дополнение к известным из научной литературы критериям в сфере внешней оценки услуг логистического аутсорсинга, авторами разработаны ещё два критерия, относящихся к провозной способности поставщиков логистических услуг и наличию у них возможности осуществлять отслеживание используемых транспортных средств.

Проблема ненадёжности и недоверия между компаниями и предприятиями может быть в определённой мере разрешена путём принятия оптимальных решений с помощью нового метода, рассмотренного в этой статье.

Ключевые слова: логистика, аутсорсинг, экономика, транспортная логистика, 3PL, 4PL, метод оценки, управление логистикой.

Для цитирования: Наджафов Э. М., Гасанлы О. Н. Метод оценки услуг логистического аутсорсинга // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-5>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Аутсорсинг является областью научных интересов многих исследователей по всему миру. Они изучали эффективность аутсорсинга, методы его применения, а также различные аспекты реализации аутсорсинга в разных областях деятельности. Примером может служить исследование, проведённое Д. МакТернаном [David Mc Ternan] по применению аутсорсинга в финансовой сфере. Автор опросил двадцать экспертов и на основе их мнений провёл оценку отношения предпринимателей к аутсорсингу и распространённости этой услуги [1]. Другой европейский эксперт С. Лутрингхаус [Sigrun Lüttringhaus], профессор Дармштадского технического университета, проанализировал технические и финансовые проблемы в этой области, рассмотрев услугу аутсорсинга применительно к отдельному предприятию [2]. Исследователи из Университета Аликанте в Испании Р. Гонсалес, Х. Гаско и Х. Ллопис [R. Gonzalez, J. Gasco, J. Llopis] в своих исследованиях проанализировали применение аутсорсинга в информационных технологиях [3].

Со своей стороны, мы также провели целый ряд исследований по аутсорсингу в Азербайджане. В ходе нашего исследования с использованием экспертного метода, мы выявили, что аутсорсинговые логистические услуги в транспортном комплексе Азербайджанской Республики получили относительно небольшое развитие [4]. По мнению экспертов, многие местные компании имеют собственную складскую сеть, транспортные и «естественные» логистические мощности, и у них нет намерения отказываться от них, хотя это дало бы возможность сократить прямые производственные издержки или расходы на продажу. В этой связи они не полагаются и не рассчитывают на передачу большей части логистических услуг внешним логистическим посредникам. Кроме того, эксперты, указывая на то, что рынок логистических посредников, предоставляющих услуги высокого уровня по разумной цене, относительно ограничен, подчёркивали, что логистика в стране получила значительное развитие во исполнение Указа Президента Азербайджанской Республики от 6.12.2016, которым была утверждена «Стратегическая дорожная карта развития логистики и торговли» [5].

В чем причины низкой распространённости аутсорсинга на экономическом рынке Азербайджана? Если обобщить мнения экспертов, то можно сделать выводы о том, что компании недостаточно доверяют логистическим провайде-

рам в плане предоставления ими логистических услуг.

Цель исследования. Чтобы преодолеть это «отсутствие уверенности в надёжности», даже если компании доверяют друг другу, им необходимо изучить и оценить сервисный потенциал и качество обслуживания поставщиков логистических услуг, которые хотят заключить с ними договор на оказание аутсорсинговых услуг. При этом компаниям необходимо определить и оценить направления своей деятельности и принять оптимальные решения, сопоставив предложения поставщиков логистических услуг. На основе этой оценки компании смогут определить свои слабые стороны, а также поставщиков, которые предлагают профессиональные услуги в этой области. Как говорится в известной поговорке, «каждый должен делать то, что он умеет лучше всего». Одна из самых больших ошибок, которую допускают многие компании, заключается в том, что они сосредотачиваются на второстепенных, а не на основных видах деятельности, что мешает им достигать результатов с высоким качеством и с низкими затратами [6].

Конечно, всё это требует метода оценки, который будут использовать компании. Турецкий исследователь О. Ыылмаз [Ö. Yılmaz] в своей работе «Аутсорсинг на предприятиях и его влияние на эффективность ведения бизнеса» изложил критерии внутренней и внешней оценки (с точки зрения ключевых направлений работы компании, затрат и рисков) [7]. Однако мы считаем, что этих критериев недостаточно для принятия компаниями оптимального решения о сотрудничестве в сфере логистического аутсорсинга. Для этого мы разработали новый метод, добавив ещё два критерия, которые касаются компаний: «отслеживание грузов» и «провозная способность поставщиков услуг».

МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как указано выше, компании должны провести внутреннюю и внешнюю оценку, прежде чем принять решение об использовании услуг аутсорсинга.

Внутренняя оценка

Внутренняя оценка состоит из нижеприведённых этапов.

1. Оценка ключевых компетенций и опыта

Основополагающие компетенции предприятия являются важнейшей сферой прило-



жения сил компании. Но способны ли компании действовать в должной мере? Достаточно ли у них опытных и квалифицированных штатных сотрудников для этого? Для оценки опытности персонала руководство предприятия должно подготовить список опытных постоянных работников с учётом их квалификаций, опыта работы, полученного профессионального образования и обучения. Далее критерий наличия практического опыта у компании определяется следующим выражением:

$$\frac{N_e}{N_w} = P_{com}.$$

Здесь, N_e обозначает количество опытных работников, N_w – общее количество работников, а P_{com} – критерий практического опыта компании.

Показатель критерия практического опыта находится в пределах $0 < 1$. Когда результат равен 1, количество опытных сотрудников максимально, а при 0 – минимально. Оценка более 0,5 считается достаточной для достижения эффективности [7].

2. Оценка расходов

На данном этапе необходимо выявить направления, более трудоёмкие и затратные, чем основная и вспомогательная деятельность предприятия. Затем, определив ежемесячные общие расходы и ежемесячные расходы на данное направление деятельности, определяют критерии расходов, используя следующее выражение:

$$\frac{E_a}{E_t} = E_{com}.$$

Здесь, E_a – расходы по оцениваемому направлению деятельности, E_t – совокупные расходы, а E_{com} – критерий расходов компании.

Показатель критерия расходов находится в пределах $0 < 1$. Желательный для предприятия результат должен приближаться к 0 [7].

3. Оценка качества

На этом этапе для определения уровня услуг, предоставляемых предприятием, необходимо определить общий объём работы, выполненной за определенный период времени, а также зафиксировать количество жалоб и претензий (негативная обратная связь, сложности во взаимоотношениях). На основе этих данных критерий качества определяется из следующего выражения:

$$\frac{N_c}{N_s} = Q_{com}.$$

Здесь N_c обозначает количество жалоб, N_s – общее количество оказанных услуг (в цифровом

исчислении), а Q_{com} – критерий качества компании.

Показатель критерия качества находится в диапазоне $0 < 1$. Если результат близок к 1, то это является крайне негативным показателем для предприятия.

Кроме того, мы также предлагаем проводить оценку рисков, предполагая, что три критерия, упомянутые в вышеприведённых источниках, не полностью охватывают внутреннюю оценку логистических аутсорсинговых услуг. Без сомнения, безопасность перевозок является одним из самых важных факторов, когда речь идёт о перевозке. По этой причине важно оценивать безопасность и риски при перевозке.

4. Оценка рисков

На этом этапе определяется количество аварий и ошибок, произошедших за определенный период эксплуатационной деятельности предприятия. Затем рассчитывается критерий риска на основе следующего выражения:

$$\frac{N_a}{N_s} = R_{com}.$$

Здесь, N_a обозначает количество аварий, ошибок, N_s представляет собой общее количество оказанных логистических услуг, а R_{com} – критерий риска компании.

Показатели критерия риска оцениваются в диапазоне $0 < 1$. Результат, близкий к 1, рассматривается как слишком опасный для предприятия.

На основе четырёхступенчатой оценки в соответствии с четырьмя вышеуказанными критериями, предприятия могут определить, в какой сфере будет полезным использование аутсорсинга. Конечно, это сферы, в которых они обладают меньшим опытом и более склонны к ошибкам, которые для них более затратны и более рискованны.

Внешняя оценка

После этих этапов становится актуальным правильный выбор поставщиков услуг, то есть внешняя оценка. Естественно, каждое предприятие стремится к оптимальному, надёжному и квалифицированному, основанному на большом опыте, сотрудничеству. Но насколько можно доверять поставщикам услуг? Каковы преимущества сотрудничества? Чтобы ответить на такие вопросы, предприятия также должны провести внешнюю оценку. В отличие от внутренней оценки, описанной

в литературе, для внешней оценки предлагается четырёхэтапная оценка.

1. Оценка поставщиков услуг

На этом этапе для оценки поставщика услуг можно использовать метод опроса. Перечисленные ниже в анкете факторы оцениваются в диапазоне от 0 до 10 баллов.

- Узнаваемость компании.
- Продолжительность деятельности компании.
- Количество опытных сотрудников в сфере деятельности.
- Постоянные и новые клиенты компании (количество, наименование и т.д. других организаций-партнеров).
- Финансовые возможности компании.
- Техника и системы, находящиеся в собственности.
- Возможности для открытого общения (оперативность ответов на запросы клиентов, спектр каналов и возможностей для общения).

После заполнения анкеты критерий опыта поставщика услуг определяется на основе следующего выражения:

$$\frac{\sum P_f}{n} = P_{pro}.$$

Здесь, P_f представляет собой число баллов, которыми в ответах на анкету были оценены перечисленные факторы, n – количество факторов, а P_{pro} – критерий опыта поставщиков услуг [7].

Достижение высоких показателей по критерию опытности – желательный результат на первом этапе выбора поставщика. Однако этот показатель, сам по себе не является достаточным для заключения договора аутсорсинга. Важно, чтобы поставщики услуг были финансово жизнеспособными.

2. Оценка расходов

На этом этапе критерий расходов определяется отношением стоимости предоставляемых поставщиком услуг к общим расходам компании:

$$\frac{E_{ap}}{E_{\varphi}} = E_{pro}.$$

Здесь, E_{ap} – цена услуг, E_{φ} – общие расходы, а E_{pro} – критерий расходов в отношении поставщиков.

Показатель критерия расходов находится в пределах $0 < 1$, и предприятия стараются получить результат, близкий к 0. Но при оценке расходов необходимо принимать во внимание не только стоимость услуги, но и количество и ка-

чество предлагаемых работ, в соотношении с затраченными на них финансовыми средствами. По этой причине иногда компании заинтересованы в партнёрстве с поставщиками, даже если $E_{ap} > E_{\varphi}$ [7].

3. Оценка качества услуг

На этом этапе для определения качества услуг, предоставляемых их провайдером, необходимо определить общий объём выполненных работ за определённый период времени и число поступивших жалоб (негативная обратная связь, сложности во взаимоотношениях). Критерий качества затем определяется на основе следующего выражения:

$$\frac{N_{cp}}{N_{sp}} = Q_{pro}.$$

Здесь N_{cp} относится к количеству жалоб, N_{sp} – общее количество оказанных услуг (в цифровом исчислении), а Q_{pro} – критерий качества услуг поставщиков.

Показатели критерия качества находятся в диапазоне $0 < 1$. Результат близкий к 0, это тот результат, который ожидают предприятия от своих поставщиков услуг.

4. Оценка риска

Как было отмечено при описании внутренней оценки, фактор риска на транспорте также важен для внешней оценки.

На этом этапе определяется число аварий и ошибок, произошедших во время определённого периода деятельности поставщика услуг, а критерий риска определяется на основе следующего выражения:

$$\frac{N_{ap}}{N_{sp}} = R_{pro}.$$

Здесь N_{ap} относится к количеству аварий, ошибок, N_{sp} – общее количество оказанных услуг, а R_{pro} – критерий риска в отношении поставщиков.

Показатель критерия риска оценивается в диапазоне $0 < 1$. Конечно, компаниям требуется гарантированная услуга от поставщика в отношении надёжности её оказания. По этой причине так важен критерий риска.

Следует отметить, что в дополнение к вышеописанным критериям компании хотят быть также уверенными, что отправления будут доставлены в надлежащем виде и в определённое время, а также всегда быть в курсе ситуации с товарами. По этой причине, в дополнение к критериям внешней оценки, представленным в литературе, мы предлагаем еще два критерия:



| № | Сравниваемые факторы | Внутренняя оценка | Внешняя оценка | Показатели соответствия |
|---|-----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | Оценка ключевых навыков и опыта | 0,50 | 0,70 | ✓ |
| 2 | Оценка стоимости | 0,25 | 0,30 | ✗ |
| 3 | Оценка качества | 0,33 | 0,23 | ✓ |
| 4 | Оценка риска | 0,27 | 0,11 | ✓ |
| 5 | Расчет провозной способности | | 0,30 | ✓ |
| 6 | Расчет степени отслеживания груза | | 1,00 | ✓ |

Рис. 1. Таблица сравнения результатов [выполнено авторами].

а) критерии для расчёта провозной способности;

б) критерии для отслеживания грузов.

5. Расчет провозной способности

Для описания провозной способности мы разработали следующее выражение:

$$\frac{\sum_{i=1}^n L_v}{n} = C.$$

Здесь L_v обозначает коэффициент загрузки транспортного средства поставщика логистических услуг (т/км), n – количество рейсов, совершенных транспортным средством (в цифровом исчислении), а C – средний коэффициент использования провозной способности.

Критерий C – показатель провозной способности компании, предлагающей логистические услуги на условиях аутсорсинга. В некоторой степени он даёт ответ на вопрос, может ли вторая контрагуемая сторона удовлетворить спрос на перевозки. Показатель C находится в диапазоне $0 < 0,5 < 1$. Если $C < 0,5$, то коэффициент свидетельствует об эффективности, это желаемый результат для компаний. Если значение коэффициента C находится в диапазоне $0,5 < 1$, поставщик логистических услуг считается частично перегруженным и предполагается, что он не сможет полностью удовлетворить потребности новых клиентов в перевозке.

6. Степень отслеживания груза

Хорошо известно, что один из наиболее тревожащих грузовладельцев вопросов связан с их желанием знать, где находится их груз, то есть возможностью отслеживать его местоположение. Конечно, отслеживание груза очень важно в рамках бизнес-планирования и предпозвочной подготовки последующих

грузовых операций. Как следствие, вопрос отслеживания груза в пути следования в современной перевозочной деятельности находится на первом месте в перечне критериев, предъявляемых поставщикам логистических услуг. Для определения степени возможности отслеживания грузов мы предлагаем следующее выражение:

$$\frac{N_v}{N_t} = T.$$

Здесь N_v – количество отслеживаемых транспортных средств, которые могут быть использованы поставщиком логистических услуг, N_t – общее количество транспортных средств, используемых поставщиком транспортных услуг, а T – критерий возможности отслеживания груза.

Значение показателя по критерию отслеживания оценивается в диапазоне $0 < 1$. Конечно, если коэффициент T близок к 1, то количество отслеживаемых транспортных средств близко к пожеланиям предприятий.

Результаты, полученные после всех этапов оценки, позволяют сделать правильный выбор поставщика. Однако следует отметить, что до принятия решения о сотрудничестве с поставщиками должна быть проведена сверка результатов внутренней и внешней оценки. Чтобы упростить процесс, мы составили таблицу показателей в Microsoft Excel, разработанную с использованием корреляционного метода (Рис. 1). Эта таблица составлена с использованием простой функции сравнения. Таким образом, в ней логически сравниваются результаты внутренней и внешней оценки, в результате чего в столбце показателей демонстрируются индикаторы «соответствия» или «несоответствия».

Эта таблица состоит из четырёх частей:

- Сравнимые критерии.
- Результаты внутренней оценки.
- Результаты внешней оценки.
- Показатель соответствия.

На изображении для образца добавлены условные цифры. Если принять во внимание результаты, мы можем увидеть, что согласно показателю соответствия «совпали» утверждения по критериям 1, 3, 4, 5 и 6, а «оказались не соответствующими друг другу» по критерию 2. Переменные показателя различаются в зависимости от внутренней и внешней оценки факторов. Таким образом, легко сравнить результаты, занеся их в таблицу показателей. Если большинство результатов этого сравнения «подходящие», сотрудничество с логистическими аутсорсинговыми компаниями можно считать успешным.

В результате, как было сказано в начале статьи, проблема недостатка доверия и недоверия между компаниями и предприятиями, являющаяся одной из причин относительно слабого развития аутсорсинга на экономическом рынке Азербайджанской Республики, будет решена правильным методом при принятии правильных решений. С помощью этого нового метода компании смогут определить области деятельности, в которых у них недостаточно опыта и которые требуют больших затрат и более рискованны, а также смогут выбрать оптимальных поставщиков логистических услуг.

ВЫВОДЫ

Экономические реформы в стране и создание прозрачной бизнес-среды для предпринимателей в результате серьёзной борьбы с рыночной монополией коснутся менее развитых отраслей экономики Азербайджанской Республики. Успешные политические и экономические реформы, принятая стратегическая дорожная карта создают благоприятные условия для изучения мирового опыта логистического аутсорсинга, продвижения поставщиков услуг 3PL-логистики и выхода на рынок поставщиков услуг 4PL-логистики. Поскольку модель аут-

сорсинговых услуг, широко используемая в современном менеджменте, повсеместно применяется сегодня в развитых странах мира, то и в экономике Азербайджана в последнее время мы можем наблюдать передачу управления бизнес-процессами третьей стороне, например создание большого количества предприятий, таких как «YOM Logistics Azerbaijan», «Baku Logistics Centre», «Business Service Centre» [8]. Представленный нами метод не только станет полезным ресурсом для предприятий, желающих воспользоваться услугами аутсорсинга, но и будет способствовать развитию услуг логистического аутсорсинга в экономике Азербайджанской Республики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. McTernan, David. Outsourcing in the financial services industry: A study of outsourcing strategies and their effects on performance, reputation and on relationships. MBA thesis. National College of Ireland, 2015.
2. Lüttringhaus, Sigrun. Outsourcing des Propertymanagements als Professional Service. Eine Analyse der Partnerwahl faktoren. Thesis for: Dr. rer. pol. Technische Universität Darmstadt, 2015.
3. Gonzalez, R.; Gasco, J.; Llopis, J. Information systems outsourcing: A Delphi study from Spain. Business Process Management Journal, 2010, Vol. 16, Iss. 2, pp. 244–263. DOI: 10.1108/14637151011035589.
4. Hasanli, O. N. Logistics in the transport complex of the Republic of Azerbaijan [Логистика в транспортном комплексе Азербайджанской Республики]. Master thesis. Baku, NAA, 2017.
5. Strategic Roadmap for the development of logistics and trade in the Republic of Azerbaijan. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated December 6, 2016 [Стратегическая дорожная карта развития логистики и торговли в Азербайджанской Республике. Указ Президента Азербайджанской Республики от 6 декабря 2016 года]. [Электронный ресурс]: https://mida.gov.az/documents/Logistika_v%C9%99_ticar%C9%99tin_ink_i%C5%9Faf%C4%B1n_dair_Strateji_Yol_X%C9%99rit%C9%99si.pdf. Доступ 22.12.2021.
6. Юрьев, С. В. Аутсорсинг как элемент современных экономических отношений: Монография. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики. – 2012. – 166 с. ISBN: 978-5-228-00621-8.
7. Yilmaz, Ö. Outsourcing in businesses and effects on business performance. Balıkesir, 2006, p. 56-77.
8. Hasanli, O. N., Najafov, E. M. Analysis of the situation of logistics outsourcing services in the Republic of Azerbaijan [Анализ ситуации с услугами логистического аутсорсинга в Азербайджанской Республике]. Baku, NAA, February readings series – 2019, pp. 131–133. ●

Информация об авторах:

Наджафов Эльман Мехти Оглу – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой авиатранспортного производства Национальной авиационной академии, Баку, Азербайджанская Республика, elmanmehdi@yandex.com.

Гасанлы Орхан Низами Оглу – преподаватель кафедры авиатранспортного производства Национальной авиационной академии, Баку, Азербайджанская Республика, o.hasanli.n@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 20.11.2021, одобрена после рецензирования 25.12.2021, принята к публикации 29.12.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.225:33

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-6>

Ситуационный анализ рынка грузовых перевозок и перспективы его развития

**Анна Дмитриевна Богер**

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ a_boger@mail.ru.

Анна БОГЕР

АННОТАЦИЯ

Актуальность проведения ситуационного анализа рынка грузовых перевозок заключается в их общей стратегической значимости в контексте экономического развития Российской Федерации. В частности, выступая в качестве активного участника экономической деятельности, в том числе и внешнеэкономической, сфера грузоперевозок является ключевой в осуществлении поставок товаров, ресурсов, продовольствия и иных грузов.

Вместе с тем, представляет особый интерес такой анализ в отношении непосредственно периода и последствий пандемии. Он даёт возможность не только сделать выводы об изменении количественных показателей (общее количество осуществляемых грузоперевозок снизилось, что несколько осложнило положение ряда хозяйствующих субъектов), но и в определённой мере рассмотреть адаптацию инструментов ситуационного анализа для ситуаций с достаточно сильным влиянием нетипичных факторов.

Предметом изучения в данной статье выступает процесс ситуационного анализа рынка грузовых перевозок с целью выявления основных закономерностей в сфере авто-

мобильного, железнодорожного и морского транспорта. Кроме того, полученные посредством анализа данные являются основой для составления основных прогнозов дальнейшего состояния всей отрасли грузоперевозок.

В контексте исследования были задействованы методы анализа и синтеза экономических и статистических источников информации; в то же время автор опирался на ряд эмпирических методов исследования и проведение SWOT-анализа.

Результаты текущего исследования имеют неоднозначный характер – с одной стороны, можно наблюдать общее развитие отрасли с позиции изменения состава рынка, а также её устойчивость относительно других сфер. В то же время анализ сложившегося в период пандемии состояния грузоперевозок можно считать в большой степени зависящим от дальнейшего влияния последствий пандемии COVID-19 для экономики в целом. Важно, однако, что отрасль продемонстрировала высокую адаптационную способность к перенастройке деятельности в условиях быстрого изменения внешнего экономического фона и конъюнктуры рынка.

Ключевые слова: транспортная отрасль, грузоперевозки, ситуационный анализ, пандемия, состояние отрасли в пандемию, COVID-19.

Для цитирования: Богер А. Д. Ситуационный анализ рынка грузовых перевозок и перспективы его развития // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 38–47. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-6>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В пандемийный и постпандемийный периоды анализ сегментов рынка является одним из способов выявления закономерностей функционирования компаний в период кризиса. Главным образом это позволяет отразить текущие тенденции всего рынка, выявить общее состояние отдельных составляющих и на этой основе сформировать перспективные направления их развития и преобразования. Так, в рамках данной статьи предполагается проведение ситуационного анализа деятельности рынка грузовых перевозок в условиях преодоления последствий пандемии COVID-19, что предполагает проведение первичного анализа ситуации, требующего дальнейшего уточнения по мере формирования опыта и анализа событий, произошедших в период 2021 года, в том числе полных статистических данных. Кроме того, актуальность заявленной тематики обуславливается стратегической значимостью этого вида экономической деятельности для всей экономики Российской Федерации. Данный факт подчёркивается тем, что грузовые перевозки (а именно железнодорожные, автомобильные, речные и морские) занимают ключевые позиции в товарообороте, перераспределении ресурсов и выступают центральным звеном цепочки поставок. С этой позиции, сглаживание постпандемийных последствий (за счёт формирования системы рекомендательных мероприятий, актуальных для различных компаний) позволит в ускоренных темпах восстановить данный сегмент рынка, как минимум, вернув его в докризисные показатели.

Таким образом, формулировка *цели* исследования – произвести комплексный анализ рынка грузовых перевозок и перспектив его дальнейшего развития.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования были задействованы *методы* анализа и синтеза литературных экономических и статистических источников информации; кроме того, особое место в структуре оперативного анализа заняли эмпирические методы сравнения, наблюдения, абстрагирования, обобщения и ряд других. В контексте ситуационного анализа главным образом задействуются методы анализа статистических данных (их изучение в динамике) и формирование рекомендаций на основе SWOT анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На современном этапе масштабы последствий пандемии COVID-19 имеют общемировой характер. В частности, рынок грузоперевозок в таких условиях подвергся особым изменениям. Как отмечает Bloomberg, в силу влияния части ограничений на деятельность транспортной отрасли, в отдельных регионах наблюдались трудности, связанные с разрывом цепочек поставок товаров. В частности, это касается деятельности компаний Европейского и Азиатского рынков. Это привело к некоторым рискам для деятельности ряда предприятий¹. В свою очередь, правительства принимали ряд мер, нацеленных на минимизацию данных задержек [1]; так со стороны Европейской комиссии были введены меры по внедрению «зелёных полос», предполагающих ряд механизмов по обеспечению функционирования железнодорожных, водных и авиаперевозок в рамках Единого рынка².

Кроме того, многие авторы выделяют ряд специфических закономерностей, связанных с влиянием пандемии на функционирование транспортной отрасли. В работе Д. Лоске подчёркивается, что объёмы перевозки сухих продуктов в розничной логистике оказались зависимы от количества новых случаев заражения в день – это становится поводом для конфликта интересов, возникающего между транспортными компаниями и сектором логистики (в частности, продуктового ритейла) [2]. Э. А. Мак и другие в проведённом исследовании сделали ряд уточнений касательно занятости работников транспортной отрасли – авторы выяснили, что различные транспортные секторы понесли различные убытки вследствие влияния пандемии (большую устойчивость имели компании, чья деятельность связана с грузоперевозками, а именно с поставкой продовольственных товаров); в том числе, это касается и уровня безработицы – работники транспортных секторов, ориентированных на работу с людьми, в том числе с пассажирами, и не связанных с доставкой товаров, теряли работу на 20,6 % чаще других [3].

¹ Bloomberg – Freight-Cost Pain Intensifies as Pandemic Rocks Ocean Shipping. [Электронный ресурс]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-04/freight-cost-pain-intensifies-as-pandemic-rocks-ocean-shipping>. Доступ 26.11.2021.

² Transportation during the pandemic. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/transportation-during-pandemic_en. Доступ 26.11.2021.



Д. Чжан, Ё. Хаяси и Лоренс Д. Франк произвели экспертный опрос руководителей (управляющих специалистов) касаясь принятия решений в контексте влияния пандемии. В среднем чуть более 30 % городов не имели руководящих документов или планов действий на случай возникновения санитарно-эпидемиологических угроз. Наличие руководящих документов в городах, представленных респондентами, значительно отличалось по видам транспорта – от 33,5 % для компаний, занимающихся автобусными перевозками, до всего 6,7 % для компаний речного судоходства. «13,9 % опрошенных заявили, что руководящих документов нет в системе ни одного вида транспорта». От 33,8 % до 44,7 % опрошенных не знали или не были уверены в наличии таких документов. При этом ситуация была схожей в равной степени как в развитых, так и развивающихся странах [4, с. 70–71].

Возвращаясь к рассмотрению ситуации в Азиатских странах, важно отметить, что в КНР за 2020 год наиболее подверженными влиянию пандемии оказались морские грузовые перевозки [5]. При этом в работе Шань-Ю Хо и других отмечается гипотеза о том, что на макроуровне факторы влияния пандемии приведут к росту в сфере автомобильного или водного грузового транспорта, что обуславливается крайней склонностью физических и юридических лиц к накоплению запасов. Кроме того, изменения потребительского поведения по отношению к продуктам пищевой промышленности говорят о параллельном росте автомобильной транспортной отрасли (в части грузоперевозок) за счёт ускорения распространения пищевых продуктов через онлайн-каналы связи [6].

Таким образом, проведённый анализ мировой ситуации свидетельствует о высоких потерях транспортной отрасли в рамках рынков различных стран. Стоит отметить, что заявленные авторами суждения коррелируют между собой. Так, объективным становится факт того, что вне зависимости от государства и его политики по отношению к пандемии COVID-19, грузовые перевозки снизили свои обороты. Однако, снижение по странам имеет различную структуру – если в странах ЕС пострадал больше всего автомобильный и воздушный транспорт, то в КНР большему воздействию подвергся морской грузовой транспорт, что обуславливается рядом специфических особенностей стран и их прямой корреляцией с состоянием транспортной отрасли.

Переходя к анализу основных показателей транспортной отрасли в Российской Федерации, важно подчеркнуть её стратегическую значимость как специального проводника всей экономической системы. Данный факт обуславливается тем, что транспортная отрасль, в частности, грузоперевозки, выступают в качестве ключевого звена, завершающего ход производственных процессов, а именно становятся главным компонентом в области перехода товара от производителя к потребителю. Кроме того, отдельные участники рынка транспортной отрасли, например, железнодорожные компании, выступают в качестве проводников между ключевыми промышленными объектами Российской Федерации (в том числе, действующими под управлением государства). Вместе с тем, всё те же железнодорожные компании являются активными внешнеторговыми партнёрами иностранных компаний в области доставки природных ресурсов добывающей промышленности России [7].

Состояние транспортной отрасли определяет возможности роста всей экономической системы за счёт регулирования поставок ресурсов, продукции, а также транспортировки основных (жизненно необходимых) товаров в отдалённые участки страны. Так, выступая в качестве неразрывного структурного компонента на стыке социальной сферы и экономической деятельности, транспорт занимает особую роль в структуре государственного развития. Важно также отметить высокую зависимость многих хозяйствующих субъектов от деятельности транспортных компаний, конкуренция среди которых в течение последних лет особо возрастает. Всё вышеизложенное становится основой для изучения транспортной отрасли и оценки её состояния в докризисный и послекризисный периоды с целью выявления основных закономерностей и изменений [8].

Например, затрагивая значимость отрасли сугубо с точки зрения валового внутреннего продукта (ВВП), можно отметить, что доля транспортной отрасли в целом за последние три года составляла в нём 6,3–5,9 % (что примерно сопоставимо со сферой строительства). Помимо прочего, в период до 2020 года, сальдированный финансовый результат транспортной отрасли составлял более 7 % в структуре всего финансового результата экономики Российской Федерации. В 2019 году в работе в транспортной отрасли было занято более 7,5 млн человек, что составляет



Рис. 1. Грузооборот по видам транспорта в Российской Федерации в период с 2015 по 2020 гг. Составлено автором по данным Росстата. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/GvBQVwRi/gruz-ob.xls>. Доступ 26.11.2021.

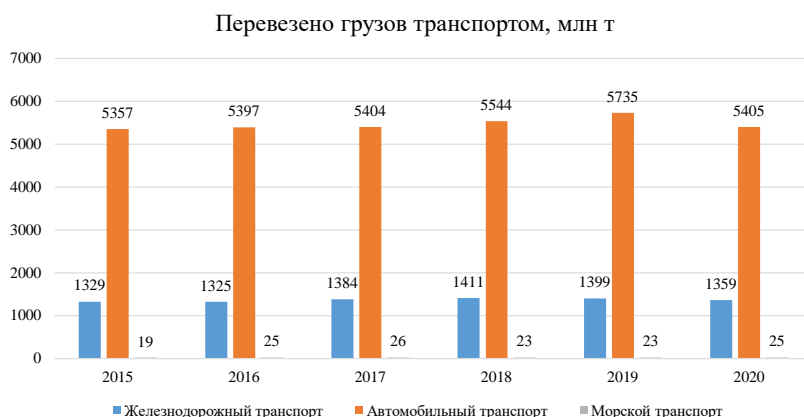


Рис. 2. Перевезено грузов по видам транспорта в Российской Федерации в течение 2015–2020 года. Составлено автором по данным Росстата. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/V8oK4Mr3/per-gruz.xls>. Доступ 26.11.2021.

около 10 % от всей численности занятого населения страны³.

Однако, важно отметить, что в период кризиса многие компании подверглись влиянию факторов риска; временное прекращение деятельности части предприятий и компаний привело к сокращению объёма грузовых перевозок, снижению грузооборота, а также параллельному росту тарифов на транспортировку ресурсов. В целом, показатели статистики в сфере грузоперевозок и владения транспортными средствами имели следующие значения в период с 2015 по 2020 годы (рис. 1, 2, 3):

Так, рассматривая данные, представленные на рис. 1 можно отметить снижение грузооборота в 2020 году; причём большая часть его изменения, а именно 2,2 %, приходится на железнодорожный транспорт. В целом грузооборот в период пандемии составил 95 % от значе-

ний 2019 года. Особенно важно отметить незначительный рост, наблюдавшийся в области морских грузоперевозок, который составил 2 млрд т • км.

Обращаясь к показателям, представленным на рис. 2, важно отметить, что наибольшее изменение объёмов перевезённых грузов наблюдалось в 2020 году: снижение составило 5,75 % или 5405 млн т; на железнодорожном транспорте уменьшение количества перевезённых грузов составило 2,85 %. Морской транспорт же, наоборот, увеличил объёмы грузоперевозок в период пандемии (однако, важно заметить, что в общей структуре роль морского транспорта всё ещё занимает самые низкие позиции, за исключением воздушного). Несмотря на изменения, автомобильный транспорт остаётся лидером рынка грузоперевозок.

Сокращение перевозок на железнодорожном транспорте можно связать с тем, что компания ОАО «РЖД» является одним из ключевых

³ Занятость и безработица в РФ. [Электронный ресурс]: <https://nangs.org/analytics/rosstat-zanyatost-i-bezrobotitsa-v-rossijskoj-federatsii>. Доступ 26.11.2021.





Рис. 3. Наличие транспортных средств, тыс. штук на конец года. Составлено автором по данным Росстата. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RBGEdfZZ/nalich.xls>. Доступ 26.11.2021.

перевозчиков угольного топлива, предназначенного для выработки электроэнергии, для зарубежных стран. Кроме того, железнодорожный транспорт в целом имеет активную взаимосвязь с европейскими странами, в которых в течение пандемии COVID-19 наблюдалось не просто снижение, а практически полноценное исключение из хозяйственной деятельности многих бизнес-структур. Результатом этого стали структурные изменения в области осуществления поставок ресурсов в европейские страны (а также СНГ) отечественными транспортно-логистическими компаниями, а именно сокращение экспорта⁴.

Современные исследования в области развития логистических услуг подчёркивают особую актуальность и параллельный рост значимости автомобильного транспорта в общей структуре грузоперевозок Российской Федерации; однако, в то же время, можно заметить, что данный факт не исключает высокой роли железнодорожного транспорта при перевозке особо крупных партий грузов. Так, соотнося показатели, представленные на рис. 1 и 2, важно отметить, что железнодорожный транспорт выступает в качестве основного при перевозке крупных отправок грузов на более протяжённые расстояния. Вместе с тем ряд авторов придают особое прогностическое значение автомобильной отрасли в рамках осуществления поставок в пределах территории Российской Федерации. В то же время в работе Турлаева Р. С., Кузменко Ю. Г., Окольниково-

ва И. Ю. отмечается, что предельная возможность структурного усиления значимости грузоперевозок, осуществляемых за счёт автотранспорта, снижается за счёт высокого среднего возраста автопарка среди грузовых автомобилей, где большая часть из них имеет возраст более пятнадцати лет [9, с. 957]. Вместе с тем, общие показатели в области количества грузовых транспортных средств в течение последних шести лет имеют следующий вид (рис. 3).

Причём в структуре владения грузовыми транспортными средствами большую часть занимают транспортные средства, находящиеся в собственности граждан (около 85–87 % в среднем за последние шесть лет). В период пандемии можно заметить снижение доли владения грузовыми транспортными средствами со стороны граждан и повышение количества транспортных средств организаций всех видов экономической деятельности (без учёта малого предпринимательства). Так, в период с 2019 по 2020 год количество грузовых транспортных средств в собственности граждан снизилось на 1,2 %; параллельно с этим, в организациях рост составил 6,07 %. Данный факт можно объяснить ростом значимости деятельности организаций, связанных с доставкой товаров в рамках РФ (крупные маркетплейсы, например, Ozon, Wildberries) в период пандемии, и соответствующим расширением их автопарка [9; 10]. Таким образом, в 2020 году распределение в области владения транспортными средствами имело следующий вид (рис. 4):

Несмотря на величину представленных показателей в части автомобильного транспорта, в общей системе грузооборота (согласно видовому распределению транспортных

⁴ Итоги внешнеэкономической деятельности РФ в 2020 году. [Электронный ресурс]: https://economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7cbcb60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_polugodie_2021.pdf. Доступ 26.11.2021.

средств в Российской Федерации), в 2020 году ведущее место занимал железнодорожный транспорт⁵. Обращаясь к данным, представленным на рис. 5, можно отметить, что в течение последних 20 лет прослеживается тенденция роста грузооборота, приходящегося на железнодорожный транспорт; параллельно с этим доля водного транспорта снижается из года в год (в 2000 году она составляла 5,3 % из общей структуры, а к 2020 снизилась до 2 %). Показатели грузооборота воздушного транспорта – самые низкие, но в то же время и наиболее устойчивые, они не изменяются уже на протяжении 20 лет. Так, несмотря на отмеченную в работе Турлаева Р. С. и других, возрастающую значимость автомобильного транспорта, его показатели хотя и отражают постепенное увеличение, однако, в сравнении с железнодорожным и трубопроводным транспортом (а именно динамикой их роста) показывают не самые высокие результаты (увеличение объёма за 20 лет составило 0,8 %). Это можно объяснить высокой ролью первых двух в осуществлении внешнеторговой деятельности (а именно экспорта ресурсов, топлива, а также некоторых промышленных товаров).

Кроме того, рассматривая вопросы реализации Транспортной стратегии Российской Федерации, можно отметить, что основные её положения, в частности, связанные с развитием транспортных сетей в интересах энергодобывающих предприятий и экспорта топлива, подчёркивают возможный дальнейший продолжающийся рост показателей грузооборота на железнодорожном транспорте, что диктуется потребностями в формировании внешнеэкономических отношений [11]. Однако, положения Транспортной стратегии содержат указания на возможность оптимизации логистических процессов, связанных с автомобильным транспортом и деятельностью в контексте территории Российской Федерации. Всё это становится поводом для формирования предположений о том, что после восстановления экономического состояния до допандемийных значений произойдут процессы, связанные с наращиванием грузооборота автомобильным, железнодорожным, трубопроводным, а также воздушным транспортом отрасли.

⁵ Структура грузооборота по видам транспорта по Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/O7f8s2Rz/gruz-ob.jpg>. Доступ 26.11.2021.

Грузовые автомобили во владении

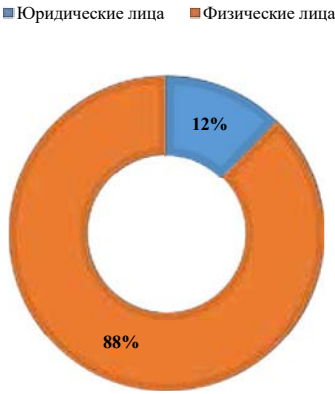


Рис. 4. Соотношение владения грузовыми автомобилями среди граждан и субъектов предпринимательства за исключением малых предприятий [составлено автором].

Таким образом, проведённый анализ позволяет сформировать ряд выводов касательно отдельных составных компонентов транспортной отрасли Российской Федерации, при условии прекращения негативного воздействия санитарно-эпидемиологических факторов и невозникновения иных аналогичных по масштабу внешних по отношению к экономике явлений, а также, как минимум, сохранения объёмов экспортно-ориентированных перевозок. В числе таких выводов следующие.

1. В отношении железнодорожного транспорта можно прогнозировать дальнейший рост показателей грузооборота (после восстановления от COVID-19), что диктуется фактом усиления ориентации на восточные рынки, а также параллельного участия государства в железнодорожной отрасли в качестве ключевого инновационного реформатора [12]. В частности, преобладание железнодорожного транспорта в части крупномасштабных грузоперевозок диктуется невозможностью его замещения другими видами транспорта. В то же время рост объёмов может свидетельствовать об увеличении количества перевезённых грузов в тоннах, однако, даже в этом случае они не превысят показатели автомобильного транспорта.

2. В отношении автомобильного транспорта можно отметить ряд тенденций в сторону продолжения увеличения показателей объёмов перевозок в рамках умеренного роста; это означает, что, несмотря на текущий общий экономический спад, объём перевозок в тоннах продолжит расти. После



Структура грузооборота по видам транспорта по Российской Федерации

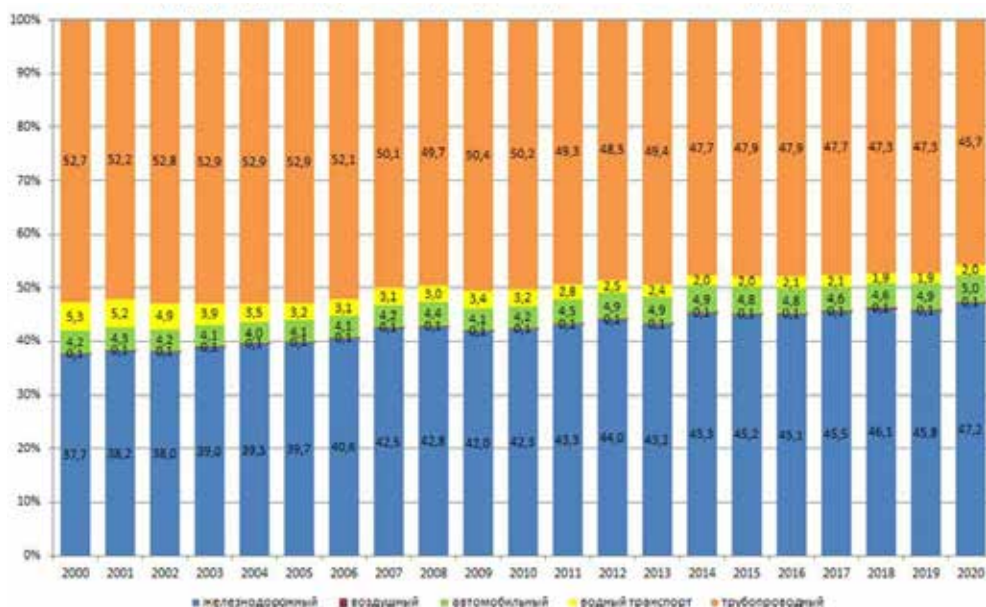


Рис. 5. Структура грузооборота по видам транспорта по Российской Федерации в процентах. Составлено автором по данным Росстата. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/V8oK4Mr3/per-gruz.xls>. Доступ 26.11.2021.

восстановления допандемийных значений, автомобильный транспорт продолжит играть ключевую роль в доставке товаров в рамках Российской Федерации.

В то же время отдельные исследования авторов подчёркивают повышение стратегической значимости автомобильного транспорта за счёт увеличения количества осуществляемых грузоперевозок в другие страны [13–15]. Несмотря на это, уровень конкуренции международных компаний на отечественном рынке (DHL, SCHENKEN и ряда других) будет возрастать параллельно росту отечественного рынка. Однако, стоит отметить, что наблюдающиеся тенденции к формированию собственного автопарка со стороны ключевых компаний России, работающих в области доставки товаров, продовольствия, а также иных грузов, может стать фактом снижения необходимости в пользовании услугами частных предприятий и ориентации на реализацию собственных грузоперевозок между организациями.

3. В отношении морского транспорта сложно формировать конкретные прогнозы, поскольку, в целом в динамике его состояние из года в год отражает тенденции к снижению. В то же время после частичного восстановления экономики прибыль в области

морских грузоперевозок отражала активный рост⁶.

Таким образом, можно подчеркнуть, что влияние пандемии хотя, с одной стороны, и стало поводом для возникновения трудностей у ряда компаний, однако, с другой, позволило освободить рынок от застоявшихся игроков, сформировав тем самым потенциал для развития новых хозяйствующих субъектов. В целом, подчёркивая устойчивость сферы грузоперевозок, можно отметить, что в период пандемии она испытывала наименьший спад, особенно в сравнении со сферой пассажирских перевозок. В области транспортной отрасли можно отметить некоторую её зависимость от ВВП Российской Федерации, в частности, доля ВВП транспортной отрасли в общей структуре занимает довольно устойчивые значения, а размер её зависит от итоговой величины ВВП. В то же время многие исследователи прогнозируют в перспективе бурный рост грузоперевозок, связанных с использованием автомобилей; однако, несмотря на это, значимость железнодорожного транспорта не будет снижаться, что диктуется текущим её общим положением и устойчивым ростом в последние периоды.

⁶ Цены на перевозки: ситуация на рынке и прогноз на ближайшее будущее. [Электронный ресурс]: <https://seanews.ru/2021/07/27/ru-ceny-na-perevozki-situacija-na-rynke-i-prognoz-na-blizhajshee-budushhee/>. Доступ 26.11.2021.

| Сильные стороны (S) | Слабые стороны (W) |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ снижение конкуренции на рынке за счёт выбытия некоторых организаций в период пандемии (в основном мелких рыночных игроков); ➤ высокая значимость отрасли для экономики Российской Федерации; ➤ устойчивые показатели отрасли в структуре экономики. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ неравномерность роста отдельных компонентов отрасли с наличием скачкообразных показателей; ➤ высокий уровень конкуренции в отдельных составляющих отрасли; ➤ снижение значимости водного транспорта. |
| Возможности (O) | Угрозы (T) |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ наличие предпосылок к развитию (Транспортная стратегия РФ и её концептуальные положения); ➤ повышение значимости грузовых автомобилей (рост их количества среди организаций, высокое значение перевезённых грузов (млн т)). | <ul style="list-style-type: none"> ➤ рост стоимости топлива; ➤ сложное послекризисное (восстанавливающее) состояние; ➤ повторное усиление ограничений; ➤ повышение тарифов в сфере грузовых перевозок. |

Рис. 6. SWOT-анализ грузоперевозок в Российской Федерации [составлено автором].

Кроме того, данные факторы усиливаются на основании положений Транспортной стратегии Российской Федерации и ориентацией на экспорт ресурсов, в том числе относящихся к топливно-энергетическому комплексу.

В качестве частного примера можно отметить ряд основных тенденций, произошедших в 2020 году:

1. Резкое (относительно упадка всей транспортной отрасли) увеличение значимости железнодорожного транспорта в структуре грузооборота (1,4 %).

2. Продолжение устойчивого роста доли автомобильного транспорта в структуре грузооборота несмотря на снижение показателей отрасли в целом (рост составил 0,1 %).

3. Продолжающийся (но в то же время значительно замедлившийся) устойчивый рост количества грузовых автомобилей.

4. Снижение количества перевезённых грузов (млн т), приходящихся на грузовые автомобили, составившее 5,75 %.

5. Изменение структуры владения грузовыми автомобилями со стороны граждан и организаций в сторону уменьшения их количества у частных лиц и роста у организаций (рост составил 6,07 %).

Таким образом, основываясь на вышеизложенных данных, необходимо произвести SWOT-анализ транспортной отрасли в период пандемии (2020 год) с целью уточнения прогнозов и возможностей течения различных тенденций в сфере грузоперевозок (рис. 6).

Можно отметить, что сегодняшний рынок Российской Федерации в большей мере открыт для транспортных компаний – это подчёркивается устойчивыми показателями роста отрасли (с позиции грузоперевозок), а также её текущими возможностями для дальнейшего укрепления собственных позиций (чему способствуют

происходящие в рамках экономики структурные преобразования). В то же время существует ряд угроз деятельности в сфере грузоперевозок, которые могут усугубляться за счёт возникновения новой волны пандемии COVID-19.

Соотнося слабые стороны и возможности, важно отметить, что Транспортная стратегия РФ может стать стимулом для улучшения позиций морского транспорта⁷. Кроме того, для крупных бизнес-игроков рост конкуренции на рынке на современном этапе не выступает в качестве широкой проблемы.

Соотношение сильных сторон и угроз позволяет отметить, что высокая значимость сферы грузоперевозок становится фактором, предопределяющим её большую независимость от цен на топливо и повышения тарифов. В таком случае итоговая стоимость грузоперевозок хотя и повлияет на их количество, но данный факт компенсируется за счёт устойчивости крупных компаний и технологической модернизации (сменой ориентиров в области грузоперевозок).

Слабые стороны и угрозы совместно образуют линию предупреждения, в рамках которой важно выделить факт того, что текущие угрозы могут стать основным барьером для использования современных возможностей. Так, высокая конкуренция и повышение стоимости топлива, рост тарифов за перевозки, могут стать факторами, снижающими общий спрос на услуги грузовых транспортных компаний (в частности, автомобильных) – это подчёркивает особую необходимость прогнозирования всех аспектов деятельности и высокую степень зависимости

⁷ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/00012021120300006?rangeSize=1>. Доступ 01.12.2021.



организаций от дальнейших действий правительства [16].

Проведённый SWOT-анализ позволяет отметить, что несмотря на все риски и слабые стороны текущей транспортной отрасли Российской Федерации, её устойчивый рост и общая значимость в экономической структуре (в допандемийные периоды) становятся факторами, исключающими предпосылки для замедления развития ниже уровня развития экономики в целом. В целом, результаты проведённого анализа коррелируют с текущими статистическими показателями и выявленными в ходе их изучения тенденциями, свидетельствующими о дальнейшем росте грузовых перевозок после завершения обусловленных пандемией явлений.

Стоит отметить, что некоторые последствия влияния пандемии COVID-19 на деятельность транспортных компаний были смягчены за счёт их оперативных действий. В частности, компания ОАО «РЖД» с целью стимулирования активности на фоне снижения спроса по грузоперевозкам объявила о скидках на транспортировку угля. Кроме того, социально значимые грузы в крытых вагонах стали отправляться на 40 % дешевле; количество погрузки продуктов питания в период пандемии увеличилось по большей части их наименований [17]. В области автомобильных грузоперевозок, в период пандемии некоторые организации вместо привычного экспорта направили собственные силы на работу в рамках внутреннего рынка; можно отметить и рост значимости IT-технологий в деятельности отечественных организаций⁸. Таким образом, в целом текущие решения не позволили сдержать последствия кризиса в полной мере в силу скоротечности возникновения и объёмов возникших угроз, однако, в некоторой степени они не дали допустить снижения объёмов перевозок грузов, что стало поводом для стабильного функционирования.

Таким образом, можно отметить, что в настоящее время объёмы перевозок грузов восстанавливаются после длительного снижения. Сегодня рынок грузовых перевозок частично «освободился» от неустойчивых

бизнес-игроков. Данный фактор становится определяющим в возможности структурного внедрения инноваций в деятельности вновь формируемых организаций. Важным здесь становится факт ориентации на современные рыночные тенденции с учётом текущих рисков и возможностей.

Так, соотнося официальные данные статистики с проведённым SWOT-анализом, можно отметить, что сегодня имеется огромный потенциал для развития отдельных направлений деятельности в сфере грузоперевозок. В частности, высокие показатели значимости и устойчивости отрасли в целом (относительно структуры экономики РФ и её изменений) свидетельствуют о возможности дальнейшего её реформирования и преобразования [18]. Например, ориентация не только на внешние, но и на внутренние рынки, позволяет транспортным организациям сохранять часть прибыли и использовать её для инвестиционной деятельности. Кроме того, статистика говорит о продолжении функционирования крупнейших игроков отрасли, что в совокупности с современными тенденциями становится фактором, определяющим их значимость в контексте восстановления всей отрасли грузоперевозок и дальнейшем развитии инноваций.

ВЫВОДЫ

Результаты проведённого ситуационного анализа позволяют отметить, что современные компании, действующие в сфере грузоперевозок, несмотря на все возникшие трудности, показали высокую устойчивость к рыночным изменениям. В частности, 2020 год, несмотря на активное развитие ограничений, связанных с COVID-19, стал значимым для развития железнодорожного транспорта – во всей структуре грузооборота его доля увеличилась на 1,4 %. В то же время, автомобильный транспорт, несмотря на прекращение деятельности со стороны многих предприятий малого и среднего бизнеса, показал малый рост (0,1 %). Однако, на рынке грузовых перевозок, пандемия стала поводом для рассмотрения иных направлений деятельности и расширения собственного влияния в рамках ранее не осуществлявшихся направлений. Так, компании, осуществляющие грузоперевозки в страны Европейского союза, после введения тотального локдауна и роста ограничительных мер (сопровождающегося экономическими потерями) стали в большей

⁸ Логистические тренды 2020–2021 года: влияние пандемии COVID-19 на перевозки. [Электронный ресурс]: <https://www.retail.ru/articles/logisticheskie-trendy-2020-2021-goda-vliyanie-pandemii-covid-19-na-perevozki/>. Доступ 26.11.2021.

мере рассматривать перспективу внутреннего рынка Российской Федерации. Вместе с тем многие компании в период пандемии стали расширять собственный автопарк грузовых автомобилей (общий рост составил 6,07 %). Проблемными выступают вопросы, касающиеся отрасли морского транспорта, – продолжительное по времени снижение объема перевозок говорит о снижении их конкурентоспособности; в то же время по состоянию на 2021 год прибыль при реализации мер стала возрастать, что формирует некоторую неопределенность ситуации. В целом можно сделать вывод, что транспортная система и в частности сегмент грузоперевозок обладает достаточной адаптационной способностью для деятельности в условиях кризисных явлений, подобных пандемии, и способен достаточно оперативно настраивать инструменты развития под изменяющиеся обстоятельства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Tardivo, A., Carrillo Zanuy, A., Sánchez Martín, C. COVID-19 Impact on Transport: A Paper from the Railways' Systems Research Perspective. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021, Vol. 2675 (5), pp. 367–378. DOI: 10.1177/0361198121990674.
2. Loske, D. The impact of COVID-19 on transport volume and freight capacity dynamics: An empirical analysis in German food retail logistics. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, Vol. 6, 100165. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100165.
3. Mack, E. A., Agrawal, S., Wang, S. The impacts of the COVID-19 pandemic on transportation employment: A comparative analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2021, Vol. 12, 100470. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100470.
4. Zhang, Junji; Hayashi, Yoshitsugu; Frank, Lawrence D. COVID-19 and transport: Findings from a world-wide expert survey. *Transport Policy*, 2021, Vol. 103, pp. 68–85. DOI: 10.1016/j.tranpol.2021.01.011.
5. Kim, K. Impacts of COVID-19 on transportation: Summary and synthesis of interdisciplinary research. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2021, Vol. 9, 100305. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100305.
6. Ho, Shan-Ju; Xing, Wenwu; Wu, Wenmin; Lee, Chien-Chiang. The impact of COVID-19 on freight transport: Evidence from China. *MethodsX*, 2021, Vol. 8, 101200. DOI: 10.1016/j.mex.2020.101200.
7. Макеева Е. З., Лаптева И. Л. Анализ влияния развития транспортной отрасли на устранение диспропорций в экономике РФ // *Экономика железных дорог*. – 2019. – № 2. – С. 33–41. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36975806>. Доступ 26.11.2021.
8. Пугачева В. В., Воротилова О. А. Анализ и проблемы развития транспортной отрасли РФ // *Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения: сб. статей XIII Международной научно-практической конференции*. В 2 ч., Пенза, 20 мая 2019 года / Ответ. ред. Г. Ю. Гуляев. – Пенза: Наука и Просвещение, 2019. – С. 33–35. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37599357>. Доступ 26.11.2021.
9. Турлаев Р. С., Кузменко Ю. Г., Околышников И. Ю. Развитие сферы автомобильных грузовых перевозок на рынке транспортно-логистических услуг России // *Экономика, предпринимательство и право*. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 947–964. DOI: 10.18334/epp.11.4.111953.
10. Кизим А. А., Тиминова Е. В. Совершенствование системы управления логистикой ведущего российского интернет-ретейлера // *Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление*. – 2015. – № 2 (57). – С. 35–40. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22897363>. Доступ 26.11.2021.
11. Голованов А. Е., Жильцова Т. В. Влияние коронавируса на экономики стран и мировую экономику в целом // *Современная экономика: актуальные вопросы теории и практики: Сб. статей Международной научно-практической конференции*, Пенза, 25 октября 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 48–50. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46947269>. Доступ 26.11.2021.
12. Мишанова В. Г., Степанова О. В. Интернет-торговля в малых городах // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2019. – № 11 (101). – С. 183–187. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42486738>. Доступ 26.11.2021.
13. Chen, Q. Chinese and Russian transport corridors and the belt and road initiative: prospects of Sino-Russian cooperation. *R-economy*, 2020, Vol. 6 (2), 100–110. DOI: 10.15826/recon.2020.6.2.009.
14. Евсеев И. Г. Анализ и увеличение показателей индекса эффективности логистической системы в Российской Федерации // *Логистические системы в глобальной экономике*. – 2019. – № 9. – С. 320–323. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41464248>. Доступ 26.11.2021.
15. Кондрашова Е. А., Дудов А. Ю. Обоснование направлений развития транспортной отрасли РФ в контексте стратегического управления // *Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: материалы VI Международной науч. конференции*, Донецк, 26–27 октября 2021 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. – С. 30–32. [Электронный ресурс]: https://donnu.ru/public/files/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%205%20-%20%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8%2C%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%20_0.pdf. Доступ 26.11.2021.
16. Douglas, M. A. Motor-Carrier Safety: A Review and Research Recommendations for 2020 and Beyond. *Transportation Journal*, 2021, Vol. 60, Iss. 2, pp. 93–140. DOI: 10.5325/transportationj.60.2.0093.
17. Савушкина Ю. В. Железнодорожная индустрия в условиях COVID-19 // *Инновации и инвестиции*. – 2020. – № 6. – С. 291–293. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43180453>. Доступ 26.11.2021.
18. Чудайкина Т. Н., Золотов А. О. Роль различных видов транспорта в транспортной отрасли РФ // *Аллея науки*. – 2019. – Т. 2. – № 2 (29). – С. 145–148. [Электронный ресурс]: https://alley-science.ru/domains_data/files/03February2019/ROL%20RAZLICHNYH%20VIDOV%20TRANSPORTA%20V%20TRANSPORTNOY%20OTRASLI%20RF.pdf. Доступ 26.11.2021.

Информация об авторе:

Богер Анна Дмитриевна – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, a_boger@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.10.2021, одобрена после рецензирования 26.11.2021, дополнена 01.12.2021, принята к публикации 20.12.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.031.8.656.078.4
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-7>

Новые подходы к управлению ценами на транспортные услуги



Сергей ПАСТУХОВ



Константин СТЕЛЬМАШЕНКО

Сергей Сергеевич Пастухов¹,
Константин Владимирович Стельмашенко²

^{1, 2} Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, Россия.

✉ ¹ pastuhovsergey@bk.ru,

² Stelmashenko.Konstantin@vniizht.ru.

АННОТАЦИЯ

Важным аспектом повышения эффективности процессов управления на транспорте является развитие новых подходов к формированию механизмов аналитики для целей управления ценами услуг.

В современных рыночных условиях продолжают оставаться актуальными и востребованными исследования, направленные на совершенствование инструментария определения оптимальных параметров соотношения качества и стоимости обслуживания для формирования конкурентоспособной и эффективной тарифной политики.

Цель исследования, представленного в статье, – анализ и оценка перспектив реализации таких направлений по совершенствованию аппарата оценки ценовой эластичности спроса на услуги железнодорожного пассажирского транспорта, как переход к использованию нелинейных по параметрам функций моделирования поведения клиентов, а также внедрение наиболее эффективных алгоритмов из арсенала современного инструментария глобальной математической оптимизации.

Формирование выводов исследования основывается на применении механизмов системного анализа, методов экономико-математического моделирования и оптимиза-

ции, а также инструментария непараметрической статистики.

В итоге, на основе использования массива данных о спросе пассажиров фирменных поездов проведена сравнительная оценка качества моделирования ценовой эластичности спроса при использовании 15 нелинейных по параметрам функций, а также, в результате осуществления трёхэтапной процедуры сравнительного анализа эффективности работы более чем 60 алгоритмов оптимизации (включающей, в том числе, расчёт минимумов и медиан для сумм квадратов ошибок моделирования, бутстреп-анализ, тесты Краскела–Уоллеса и Манна–Уитни, а также расчёт специально разработанной авторами метрики оценки степени превосходства одного алгоритма над другим в рамках непараметрического анализа) определены наиболее перспективные механизмы поиска неизвестных параметров для негладких нелинейных функций моделирования поведения клиентов железнодорожного транспорта.

Представляется, что полученные выводы могут быть успешно использованы и применительно к другим видам транспорта при решении ими аналогичных задач формирования эффективного инструментария управления ценами транспортных услуг.

Ключевые слова: управление транспортом, пассажирские перевозки, тарифная политика, ценовая эластичность спроса, экономико-математические модели, эвристические алгоритмы оптимизации, система управления доходами.

Для цитирования: Пастухов С. С., Стельмашенко К. В. Новые подходы к управлению ценами на транспортные услуги // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 48–60. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-7>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Востребованными и актуальными являются исследования, посвящённые развитию подходов к управлению ценами транспортных услуг, базирующихся на реализации эффективных механизмов моделирования поведения клиентов для целей нахождения оптимальных параметров соотношения качества и стоимости обслуживания.

Реализация комплексных программ повышения эффективности, рост ориентированности на клиентов и повышение качества предоставляемых услуг продолжают, согласно положениям Программы долгосрочного развития¹, оставаться важными направлениями стратегии обеспечения высокой конкурентоспособности ОАО «РЖД» в современных рыночных условиях.

В сфере управления железнодорожным транспортом на рынке пассажирских перевозок за последние 15 лет достигнут существенный прогресс в развитии методологии моделирования поведения клиентов для целей ценообразования на основе исследования ценовой эластичности спроса, к основным вехам которого можно отнести:

- разработку механизма определения оптимальных стоимостных интервалов для платёжеспособного спроса на дополнительные услуги в поездах, базирующегося на сценарном анализе ответов респондентов о предельных ценах с использованием ранговых шкал ценовых диапазонов [1, с. 45–47; 2, с. 128–132];
- создание инструментария оценки оптимальных тарифов на пригородные абонементы путём моделирования процесса решения клиентов о выборе поездки [3, с. 51–63];
- обоснование концепции и подходов к реализации динамического ценообразования и управления доходностью пассажирских перевозок в дальнейшем следовании [4, с. 27–30];
- разработку аппарата экономико-математических моделей для управления доходностью и рентабельностью отечественных пассажирских перевозок дальнего следования в рамках системы динамического ценообразования [5, с. 10–15; 6, с. 33–39];
- развитие инструментария определения оптимальной стоимости обслуживания пасса-

жиров на основе экономико-математического моделирования с использованием линейных по параметрам [2, с. 123–128; 7, с. 10–20], а в дальнейшем, и существенно нелинейных [8, с. 50–59] форм моделей оценки ценовой эластичности спроса;

• совершенствование аппарата экономико-математических моделей для управления экономической эффективностью на основе объединения инструментария динамического ценообразования с механизмами анализа тарифов конкурентов [9, с. 53–62] и подходами определения оптимальной составности пассажирских поездов [10, с. 343–350].

Целью исследования, результаты которого содержатся в статье, является дальнейшее последовательное развитие механизмов управления ценами транспортных услуг на основе совершенствования процессов прогнозирования поведения пассажиров за счёт выбора новых перспективных функций анализа ценовой эластичности спроса, а также поиска и применения наиболее эффективных алгоритмов глобальной математической оптимизации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Альтернативные модели анализа ценовой эластичности спроса

В [8, с. 51] было рассмотрено пять нелинейных по параметрам форм экономико-математических моделей анализа ценовой эластичности для использования в автоматизированных системах управления доходностью: Гомпертца (Gompertz), Перла–Рида (Pearl–Reed), Ферхюльста (Verhulst), а также два варианта модели Вейбулла (Weibull): двухпараметрический (W2b) и четырёхпараметрический (W4b). Однако можно выделить и другие, широко используемые на практике, альтернативные функциональные формы нелинейных моделей, изучение которых может оказаться перспективным для повышения эффективности анализа эластичности спроса в рамках управления ценами перевозок и сопутствующего сервиса на железнодорожном транспорте:

• Литтла (Little), известная также как ADBUDG [11, с. 484–485]:

$$y(x) = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1)x^{\beta_3} / (\beta_4 + x^{\beta_3}), \quad (1)$$

где $y(x)$ – моделируемая зависимость спроса на услугу от её стоимости;

β – коэффициенты, получаемые в ходе оптимизации.

¹ Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р). [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/553927831?marker=64U0IK>. Доступ 01.05.2021.



• Логит (Logit) [12, с. 78–79]:

$$y(x) = \beta_1 \exp(\beta_2 + \beta_3 x) / (1 + \exp(\beta_2 + \beta_3 x)). \quad (2)$$

• Пропорций (Ratio) [13]:

$$\text{Rat-03: } y(x) = \beta_1 / (x^3 + \beta_2 x^2 + \beta_3 x + \beta_4), \quad (3)$$

$$\text{Rat-12: } y(x) = (\beta_1 x + \beta_2) / (x^2 + \beta_3 x + \beta_4), \quad (4)$$

$$\text{Rat-13: } y(x) = (\beta_1 x + \beta_2) / (x^3 + \beta_3 x^2 + \beta_4 x + \beta_5), \quad (5)$$

$$\text{Rat-21: } y(x) = (\beta_1 x^2 + \beta_2 x + \beta_3) / (x + \beta_4), \quad (6)$$

$$\text{Rat-22: } y(x) = (\beta_1 x^2 + \beta_2 x + \beta_3) / (x^2 + \beta_4 x + \beta_5). \quad (7)$$

• Ратковского (Ratkowsky's) [14, с. 1–5]:

$$y(x) = \beta_1 / (1 + \exp(-\beta_2 - \beta_3 x))^{(1/\beta_4)}. \quad (8)$$

• Ричардса (Richards) [15, с. 290–300]:

$$y(x) = \beta_1 / ((1 + \beta_2 \exp(-\beta_3 x))^{(1/\beta_4)}). \quad (9)$$

• Экспоненты с двойным растяжением, далее называемой DWM (Double Weibullian Model) [16, с. 139–159; 17, с. 4402–4412]:

$$y(x) = \beta_1 \cdot \exp((x / \beta_2)^{\beta_3} - (x / \beta_4)^{\beta_5}). \quad (10)$$

Авторы решили сопоставить эффективность указанных выше моделей (формулы 1–10) с пятью, ранее представленными в [8, с. 51], при их использовании применительно к массиву информации о ценовой эластичности спроса, полученной по результатам анкетного опроса 3,5 тыс. пассажиров фирменных поездов (подробное описание процесса получения и обработки исходных данных представлено в [7, с. 12–16]), курсирующих на направлении Москва–Санкт-Петербург, в разрезе изучения следующих восьми кластеров данных, характеризующих спрос на:

1) услугу «Интернет» в вагонах Купе фирменных поездов;

2) услугу «Интернет» в вагонах СВ фирменных поездов;

3) услугу «Связь» в вагонах Купе фирменных поездов;

4) услугу «Связь» в вагонах СВ фирменных поездов;

5) билеты Купе эконом-класса поезда № 3/4 «Фирменный экспресс»;

6) билеты СВ бизнес-класса поезда № 3/4 «Фирменный экспресс»;

7) билеты Купе эконом-класса № 5/6 «Николаевский экспресс»;

8) билеты СВ бизнес-класса поезда № 5/6 «Николаевский экспресс».

В [8, с. 55] по итогам сравнительного анализа качества оценивания оптимальных параметров изучаемых форм моделей, наиболее эффективным оказался алгоритм Левенберга–Марквардта (далее LM), поэтому именно он был первоначально выбран для поиска неизвестных параметров изучаемых моделей (формулы 1–10). Данный алгоритм,

детально описанный в [18, с. 105–116], основывается на критерии минимизации суммы квадратов ошибок модели (далее SSE), который для целей сопоставимости был реализован во всех рассмотренных в алгоритмах оптимизации [8, с. 52].

В рамках данной статьи авторы решили использовать минимум SSE не только как критерий оптимизации неизвестных параметров, но и руководствоваться им при сравнениях качества работы алгоритмов оптимизации, а также эффективности изучаемых функциональных форм для целей ценообразования. Тем не менее, стоит отметить, что, перед внедрением в практику ценообразования, по-прежнему целесообразно проводить сравнения и по более удобным для целей менеджмента показателям, включая [8, с. 52–53] «интегральный критерий сравнительной ошибки модели в исследуемой группе», «скорректированный индекс детерминации», «средний модуль абсолютной ошибки» (далее MAD).

Полученные авторами результирующие величины минимума SSE по результатам 15 запусков алгоритма LM, характеризующие эффективность использования различных функциональных форм моделирования в каждом из восьми изучаемых кластеров (табл. 1), позволяют сделать вывод, что выбор модели Перла–Рида в качестве исходной точки при анализе ценовой эластичности спроса на транспортные услуги по-прежнему является отличным решением (в [8, с. 54–55] данная модель уже отмечалась как одна из самых перспективных, демонстрируя наибольшую эффективность по критерию минимума MAD).

При этом алгоритм LM не сошёлся для моделей Ричардса и DWM ни в одном из изучаемых кластеров, что связано с проблемами оценки градиента из-за негладкости этих нелинейных функциональных форм. Для решения данной проблемы авторы, учитывая анализ свойств этих функций и специфику применения моделей в практике анализа ценовой эластичности, ограничили области стартовых точек поиска для неизвестных переменных (в первом приближении, – интервалом от –10 до 10 для неизвестных параметров степени и от –50 до 50 для остальных неизвестных величин), после чего стало возможно использование алгоритмов оптимизации на основе построения

Таблица 1

Результаты оптимизации параметров нелинейных форм моделирования ценовой эластичности спроса (алгоритм LM) [выполнено авторами]

| Форма модели | Исследуемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | | |
|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Итого |
| Минимум SSE по результатам 15 запусков LM, ед. | | | | | | | | | |
| Гомпертца | 0,0101 | 0,0329 | 0,0301 | 0,0690 | 0,0685 | 0,0990 | 0,0282 | 0,0283 | 0,3661 |
| Перла–Рида | 0,0072 | 0,0106 | 0,0095 | 0,0162 | 0,0498 | 0,0674 | 0,0282 | 0,0198 | 0,2088 |
| Ферхюльста | 0,0080 | 0,0254 | 0,0256 | 0,0590 | 0,0508 | 0,0732 | 0,0317 | 0,0373 | 0,3110 |
| W2b | 0,0078 | 0,0261 | 0,0261 | 0,0590 | 0,0564 | 0,0843 | 0,0329 | 0,0450 | 0,3376 |
| W4b | 0,0071 | 0,0170 | 0,0172 | 0,0448 | 0,0527 | 0,0724 | 0,0304 | 0,0381 | 0,2796 |
| Литтла | 0,0084 | 0,0098 | 0,0127 | 0,0286 | 0,0457 | 0,0422 | 0,0686 | 0,0529 | 0,2689 |
| Логит | 0,0080 | 0,0254 | 0,0256 | 0,0590 | 0,0508 | 0,0317 | 0,0732 | 0,0373 | 0,3110 |
| Rat-03 | 0,0075 | 0,0096 | 0,0127 | 0,0226 | 0,0623 | 0,0497 | 0,0925 | 0,0653 | 0,3221 |
| Rat-12 | 0,0074 | 0,0096 | 0,0130 | 0,0178 | 0,0908 | 0,0671 | 0,1021 | 0,0694 | 0,3772 |
| Rat-13 | 0,0072 | 0,0096 | 0,0122 | 0,0096 | 0,0459 | 0,0403 | 0,0728 | 0,0423 | 0,2400 |
| Rat-21 | 0,0159 | 0,0403 | 0,0746 | 0,0733 | 0,3957 | 0,1889 | 0,1949 | 0,1870 | 1,1706 |
| Rat-22 | 0,0072 | 0,0080 | 0,0129 | 0,0049 | 0,0533 | 0,0446 | 0,0778 | 0,0351 | 0,2439 |
| Ратковского | 0,0172 | 0,0457 | 0,0880 | 0,0857 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0283 | 0,4068 |
| Ричардса | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| DWM | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

Примечание: приведены округлённые до 4 знака величины SSE.

доверительных областей методами: внутренней точки (Trust Region Inner Point Method, далее TRIPM, детальное описание которого представлено в [19, с. 578–583]) и последовательного квадратичного программирования (далее TRSQP, изложенного в [19, с. 546–554]). Так как из 15 запусков TRIPM и TRSQP в части кластеров успешными в плане сходимости оказывались менее 30 %, – был применён метод мультистарта, когда в каждом запуске использовались 30 стартовых точек, выбираемых из заданных интервалов на основе равномерного распределения с использованием генератора псевдослучайных чисел «Вихрь Мерсенна» ([20, с. 3–30]). В итоге, для рассматриваемого массива данных в рамках каждого из 15 запусков по каждому из кластеров удалось получить решения, подхо-

дящие для дальнейшего сравнительного анализа (табл. 2).

Следует отметить, что TRIM и TRSQP, учитывая особенности их построения, не гарантируют получение глобальных минимумов в случае негладких функций. Более того, даже при использовании мультистарта, по-прежнему нельзя полностью исключить вероятность того, что алгоритмы не дадут ни одного приемлемого решения в заданные интервалы времени, что может оказаться серьёзным препятствием для их применения в практике управления ценами транспортных услуг на железнодорожном транспорте. Поэтому в качестве альтернативного подхода к поиску оптимумов для моделей Ричардса и DWM (учитывая наличие перспектив их использования, согласно результатам, представленным в табл. 2) было ре-

Таблица 2

Результаты оптимизации параметров нелинейных форм моделирования ценовой эластичности спроса (алгоритмы: TRIPM и TRSQP) [выполнено авторами]

| Форма модели | Исследуемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | | |
|---|--|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Итого |
| Минимум SSE по результатам 15 запусков TRIPM с мультистартом, ед. | | | | | | | | | |
| Ричардса | 0,0073 | 0,0101 | 0,0155 | 0,0238 | 0,0454 | 0,0683 | 0,0282 | 0,0278 | 0,2264 |
| DWM | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0106 | 0,0518 | 0,0784 | 0,0291 | 0,0197 | 0,2296 |
| Минимум SSE по результатам 15 запусков TRSQP с мультистартом, ед. | | | | | | | | | |
| Ричардса | 0,0073 | 0,0101 | 0,0155 | 0,0238 | 0,0454 | 0,0683 | 0,2615 | 0,0921 | 0,5240 |
| DWM | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0838 | 0,0318 | 0,0388 | 0,3139 |

Примечание: приведены округлённые до 4 знака величины SSE.





Таблица 3

Общие сведения об эвристических алгоритмах оптимизации [составлено авторами]

| Полное наименование и описание методологии алгоритма | Аббревиатура |
|---|--------------|
| «Artificial bee colony algorithm» [21, с. 19–30] | ABC |
| «Ant colony optimization for continuous domains» [22, с. 1155–1173] | ACOR |
| «Artificial ecosystem-based optimization» [23, с. 9383–9425] | AEO |
| «Autonomous groups particle swarm optimization» [24, с. 4683–4697] | AGPSO |
| «Antlion optimizer» [25, с. 80–89] | ALO |
| «Aquila optimizer» [26, с. 1–16] | AO |
| «Bat algorithm» [27, с. 313–315] | BAT |
| «Biogeography-Based optimization» [28, с. 702–713] | BBO |
| «A modified bees algorithm with statistics-based tuning parameters» [29, с. 287–301] | BeAm |
| «The standard bees algorithm» [30, с. 2919–2938] | BeAs |
| «Bacterial foraging optimization» [31, с. 52–67] | BFO |
| «Black-Hole-Based optimization» [32, с. 879–888] | BHBO |
| «Cultural algorithm» [33, с. 187–192] | CA |
| «Chaos Game optimization» [34, с. 917–1004] | CGO |
| «The clonal selection principle optimization» [35, с. 239–251] | CLONALG |
| «Coyote optimization algorithm» [36, с. 2633–2640] | COA |
| «Constriction coefficient particle swarm optimization» [37, с. 58–73] | CPSO |
| «Cuckoo search algorithm» [27, с. 306–312] | CS |
| «Dragonfly algorithm» [38, с. 1053–1073] | DAO |
| «Differential evolution» [39, с. 341–359] | DE |
| «Hybrid particle swarm with differential evolution» [40, с. 629–640] | DEPSO |
| «Earthquake optimization algorithm» [41, с. 78–86] | EQOA |
| «Equilibrium optimizer» [42, с. 1–19] | EOA |
| «Firefly algorithm» [43, с. 209–218] | FA |
| «Flower pollination algorithm» [27, с. 315–318] | FPA |
| «Real-coded genetic algorithm» [44, с. 2276–2280] | GA |
| «Generalized normal distribution optimization» [45, с. 1–21] | GNDO |
| «Grasshopper optimisation algorithm» [46, с. 30–47] | GOA |
| «Gaussian Quantum-behaved particle swarm» [47, с. 1676–1683] | GQPSO |
| «Generalized simulated annealing optimization» [48, с. 216–220] | GSA |
| «Grey wolf optimizer» [49, с. 46–61] | GWO |
| «Heap-based optimizer» [50, с. 1–17] | HBO |
| «Harris hawks optimization» [51, с. 849–872] | HHO |
| «Harmony search» [33, с. 182–186] | HS |
| «Imperialist competitive algorithm» [21, с. 51–65] | ICA |
| «An improved grey wolf optimizer» [52, с. 1–37] | IGWO |
| «Adaptive differential evolution with optional external archive» [53, с. 945–958] | JADE |
| «Inertia based particle swarm optimization» [54, с. 32–41] | IPSO |
| «Invasive weed optimization» [55, с. 355–366] | IWO |
| «Jaya optimization» [56, с. 19–34] | JAYA |
| «Mexican Axolotl Optimization» [57, с. 1–20] | MAO |
| «Marine predators algorithm» [58, с. 1–23] | MPA |
| «Manta ray foraging optimization» [59, с. 1–20] | MRFO |
| «Multi-Verse optimizer» [60, с. 495–513] | MVO |
| «Neighborhood consensus continuous optimization» [61, с. 115–141] | NCCO |
| «Nelder Mead optimization algorithm» [62, с. 973–980] | NM |
| «Standart particle swarm optimization» [33, с. 232–237] | SPSO |
| «Queueing search algorithm» [63, с. 464–490] | QSO |
| «Real-coded adaptive simulated annealing optimization» [27, с. 287–290] | SA |
| «Shuffled complex-self adaptive hybrid evolution algorithm» [64, с. 215–235] | SC-SAHEL |
| «Shuffled complex evolution» [65, с. 501–521] | SCE-UA |
| «Sunflower optimization» [66, с. 619–626] | SFO |
| «Salp swarm algorithm» [67, с. 163–191] | SSA |
| «A two-stage state transition algorithm» [68, с. 1–13] | STA |
| «Time-varying asymmetric acceleration particle swarm optimization» [69, с. 2134–2139] | TACPSO |
| «Teaching-Learning-Based optimization algorithm» [21, с. 41–49] | TLBO |
| «Tug of war optimization algorithm» [21, с. 123–135] | TWO |
| «Vibrating particles system optimization algorithm» [21, с. 153–165] | VPS |
| «Water evaporation optimization algorithm» [21, с. 138–152] | WEO |
| «Whale optimization algorithm» [70, с. 51–67] | WOA |

шено рассмотреть применение эвристических алгоритмов глобальной оптимизации, изначально спроектированных так, чтобы при ограниченном времени вычислений стабильно находить хорошие решения, даже в случае негладких нелинейных функций в многомерном пространстве неизвестных переменных.

Выбор эвристических алгоритмов глобальной оптимизации для использования в управлении ценами транспортных услуг

В [8, с. 52] было рассмотрено лишь три варианта эвристической численной оптимизации, лучшим из которых (по минимуму SSE во всех кластерах) оказался метод Нельдера–Мида (Nelder–Mead, далее NM), который, тем не менее, существенно уступал в эффективности алгоритму LM [8, с. 57]. Однако в последние десятилетия наблюдается существенный прогресс в развитии теории эвристик глобальной оптимизации, результатом которого стало появление множества общедоступных (без ограничений на их доработку и коммерческое использование) алгоритмов, часто сопровождаемых примерами описания исходных кодов на языках программирования (R, Python, Matlab, Ruby). Удобство практической работы с ними в распространённых в настоящее время бесплатных интерактивных средах разработки программного обеспечения: Rstudio, Spyder, GNU Octave (поддерживающей синтаксис Matlab), а также существенный рост вычислительных мощностей современных компьютеров предоставляют широкие перспективы для быстрой разработки и интеграции лучших решений в существующие программные комплексы, обслуживающие многочисленные процессы отраслевого управления, включая ценообразование. Поэтому для определения наиболее эффективного подхода к оптимизации параметров негладких нелинейных моделей, используемых для оценки ценовой эластичности спроса, авторами был проведён сравнительный анализ работы 60 стохастических эвристических алгоритмов оптимизации (табл. 3), который включал три основных этапа: отбор лучших 25 % по минимуму SSE; сокращение списка до 10 % на основе анализа медиан SSE; итоговый выбор нескольких наиболее пер-

спективных алгоритмов на основе непараметрических методов статистического анализа.

Для сокращения объёма вычислений было решено сначала провести отбор наиболее перспективных алгоритмов на основе оптимизации модели DWM и только после этого осуществить оптимизацию для модели Ричардса.

Результаты оценки минимума SSE в разрезе изучаемых кластеров по результатам 15 запусков эвристических алгоритмов оптимизации для модели DWM (со сменой значения инициализации генератора псевдослучайных чисел «Вихрь Мерсенна» в каждом), а также ограничением времени выполнения (не более 12 секунд) на оптимизацию в рамках запуска, представлены в табл. 4.

Полученные результаты ранжирования изучаемых эвристик глобальной оптимизации (табл. 4) показывают, что суммарный минимум SSE изучаемых кластеров по каждому из 15 лучших алгоритмов (25 % общего количества) оказывается ниже, чем у алгоритма TRIPM с мультистартом (табл. 2), что свидетельствует о высоком потенциале их практического использования.

Критерий минимума величины SSE, достигаемый по результатам 15 запусков, отражает такие аспекты эффективности алгоритма оптимизации, как перемещение в пространстве размерностей задачи и поиск в перспективных локальных областях, но для практического использования в ценообразовании, учитывая стохастическую природу всех рассматриваемых эвристических алгоритмов, важным является критерий стабильности, отражающий вероятность того, что алгоритм сможет найти минимум SSE за меньшее число запусков. Поэтому, для учёта критерия стабильности, было проведено сравнение медиан SSE, результаты которого для 18 лучших алгоритмов представлены в табл. 5.

Результаты сравнения медиан SSE (табл. 4) показывают, что самым стабильным является алгоритм CS. Стоит отметить, что и по суммарному минимуму SSE он не занял лидирующие позиции только из-за результатов работы на четвёртом изучаемом кластере. В пятёрку лучших также вошли MRFO, FPA и TLBO, что, учитывая их лидерство по минимуму SSE, делает их явными фаворитами. В то же время SC-SAHF, хотя достигал





Таблица 4

Ранжирование алгоритмов по минимуму SSE для модели DWM
[выполнено авторами]

| Алгоритм | Изучаемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Итого |
| Минимум SSE по результатам 15 запусков алгоритма, ед. | | | | | | | | | |
| SC-SAHEL | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0110 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2174 |
| MRFO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0109 | 0,0510 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2174 |
| FPA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0106 | 0,0509 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2177 |
| TLBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0108 | 0,0510 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2179 |
| CS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0118 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2182 |
| CGO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0213 | 0,2190 |
| EOA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0133 | 0,0510 | 0,0278 | 0,0749 | 0,0206 | 0,2210 |
| FA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0141 | 0,0511 | 0,0278 | 0,0750 | 0,0197 | 0,2211 |
| WEO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0196 | 0,0142 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0200 | 0,2218 |
| AEO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0205 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0279 | 0,0748 | 0,0233 | 0,2218 |
| VPS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0141 | 0,0511 | 0,0291 | 0,0749 | 0,0206 | 0,2231 |
| GNDO | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0104 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2236 |
| STA | 0,0069 | 0,0076 | 0,0194 | 0,0144 | 0,0520 | 0,0278 | 0,0760 | 0,0197 | 0,2238 |
| AGPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0124 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0750 | 0,0248 | 0,2246 |
| JADE | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0262 | 0,2272 |
| CPSO | 0,0069 | 0,0141 | 0,0206 | 0,0117 | 0,0510 | 0,0307 | 0,0749 | 0,0206 | 0,2307 |
| GA | 0,0069 | 0,0074 | 0,0196 | 0,0221 | 0,0520 | 0,0278 | 0,0759 | 0,0197 | 0,2314 |
| GWO | 0,0069 | 0,0073 | 0,0196 | 0,0148 | 0,0527 | 0,0318 | 0,0753 | 0,0239 | 0,2323 |
| MVO | 0,0070 | 0,0072 | 0,0197 | 0,0227 | 0,0524 | 0,0294 | 0,0757 | 0,0220 | 0,2360 |
| IGWO | 0,0071 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0117 | 0,0531 | 0,0318 | 0,0818 | 0,0249 | 0,2370 |
| ICA | 0,0069 | 0,0147 | 0,0197 | 0,0195 | 0,0517 | 0,0285 | 0,0756 | 0,0206 | 0,2371 |
| TACPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0302 | 0,0510 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0197 | 0,2371 |
| DEPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0104 | 0,0509 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0382 | 0,2393 |
| ACOR | 0,0069 | 0,0073 | 0,0200 | 0,0174 | 0,0540 | 0,0286 | 0,0814 | 0,0250 | 0,2406 |
| QSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0119 | 0,0510 | 0,0748 | 0,0318 | 0,0382 | 0,2411 |
| MPA | 0,0071 | 0,0072 | 0,0198 | 0,0135 | 0,0526 | 0,0308 | 0,0750 | 0,0353 | 0,2412 |
| GSA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0198 | 0,0116 | 0,0509 | 0,0748 | 0,0318 | 0,0382 | 0,2413 |
| ABC | 0,0069 | 0,0147 | 0,0197 | 0,0182 | 0,0513 | 0,0318 | 0,0752 | 0,0262 | 0,2440 |
| DE | 0,0069 | 0,0145 | 0,0208 | 0,0276 | 0,0513 | 0,0284 | 0,0754 | 0,0197 | 0,2447 |
| SCE-UA | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0307 | 0,0748 | 0,0388 | 0,2455 |
| JAYA | 0,0069 | 0,0077 | 0,0198 | 0,0145 | 0,0521 | 0,0318 | 0,0752 | 0,0384 | 0,2466 |
| HHO | 0,0071 | 0,0073 | 0,0196 | 0,0196 | 0,0531 | 0,0318 | 0,0787 | 0,0298 | 0,2470 |
| SPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0401 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0750 | 0,0197 | 0,2472 |
| NM | 0,0069 | 0,0072 | 0,0200 | 0,0098 | 0,0555 | 0,0308 | 0,0809 | 0,0363 | 0,2474 |
| HS | 0,0069 | 0,0153 | 0,0205 | 0,0272 | 0,0525 | 0,0284 | 0,0765 | 0,0205 | 0,2479 |
| WOA | 0,0072 | 0,0076 | 0,0196 | 0,0192 | 0,0532 | 0,0318 | 0,0825 | 0,0304 | 0,2515 |
| BeAm | 0,0069 | 0,0090 | 0,0218 | 0,0259 | 0,0526 | 0,0290 | 0,0750 | 0,0363 | 0,2566 |
| COA | 0,0069 | 0,0075 | 0,0199 | 0,0262 | 0,0523 | 0,0318 | 0,0761 | 0,0385 | 0,2592 |
| IWO | 0,0074 | 0,0080 | 0,0197 | 0,0269 | 0,0538 | 0,0318 | 0,0767 | 0,0388 | 0,2632 |
| CA | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0237 | 0,2667 |
| GA | 0,0074 | 0,0179 | 0,0206 | 0,0276 | 0,0519 | 0,0318 | 0,0750 | 0,0388 | 0,2710 |
| HBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0196 | 0,0404 | 0,0514 | 0,0318 | 0,0753 | 0,0384 | 0,2711 |
| BHBO | 0,0071 | 0,0182 | 0,0243 | 0,0412 | 0,0541 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0222 | 0,2745 |
| GQPSO | 0,0076 | 0,0087 | 0,0220 | 0,0251 | 0,0560 | 0,0327 | 0,0841 | 0,0384 | 0,2745 |
| AO | 0,0075 | 0,0204 | 0,0198 | 0,0259 | 0,0555 | 0,0312 | 0,0832 | 0,0315 | 0,2750 |
| IPSO | 0,0069 | 0,0141 | 0,0192 | 0,0400 | 0,0510 | 0,0318 | 0,0749 | 0,0382 | 0,2763 |
| DAO | 0,0073 | 0,0168 | 0,0241 | 0,0294 | 0,0536 | 0,0318 | 0,0785 | 0,0388 | 0,2804 |
| BBO | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0382 | 0,2812 |
| BeAs | 0,0070 | 0,0124 | 0,0224 | 0,0375 | 0,0542 | 0,0318 | 0,0773 | 0,0388 | 0,2813 |
| NCCO | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0388 | 0,2818 |
| CLONALG | 0,0071 | 0,0114 | 0,0233 | 0,0397 | 0,0551 | 0,0320 | 0,0785 | 0,0386 | 0,2855 |
| TWO | 0,0072 | 0,0161 | 0,0234 | 0,0461 | 0,0533 | 0,0307 | 0,0769 | 0,0363 | 0,2900 |
| SSA | 0,0073 | 0,0184 | 0,0243 | 0,0466 | 0,0538 | 0,0318 | 0,0762 | 0,0388 | 0,2972 |
| GOA | 0,0074 | 0,0204 | 0,0214 | 0,0431 | 0,0560 | 0,0319 | 0,0837 | 0,0388 | 0,3027 |
| BAT | 0,0074 | 0,0124 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0549 | 0,0319 | 0,0829 | 0,0388 | 0,3045 |
| BFO | 0,0072 | 0,0203 | 0,0242 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0333 | 0,0776 | 0,0388 | 0,3089 |
| SFO | 0,0074 | 0,0203 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0548 | 0,0318 | 0,0828 | 0,0388 | 0,3120 |
| ALO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0838 | 0,0388 | 0,3138 |
| MAO | 0,0103 | 0,0223 | 0,0316 | 0,0600 | 0,0555 | 0,0483 | 0,0875 | 0,0636 | 0,3792 |
| EQOA | 0,0209 | 0,0468 | 0,0453 | 0,0242 | 0,1100 | 0,0597 | 0,1238 | 0,0531 | 0,4837 |

Примечание: приведены округлённые до 4 знака величины минимума SSE.

• Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 48–60

Пастухов С. С., Стельмашенко К. В. Новые подходы к управлению ценами на транспортные услуги

Таблица 5

Ранжирование алгоритмов по сумме медиан SSE для модели DWM
[выполнено авторами]

| Алгоритм | Исследуемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | | |
|---|--|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Итого |
| Медиана SSE по результатам 15 запусков алгоритма, ед. | | | | | | | | | |
| CS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0119 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2186 |
| MRFO | 0,0069 | 0,0073 | 0,0206 | 0,0130 | 0,0510 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0213 | 0,2229 |
| FA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0142 | 0,0521 | 0,0296 | 0,0750 | 0,0218 | 0,2261 |
| TLBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0112 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0250 | 0,2278 |
| FPA | 0,0069 | 0,0140 | 0,0205 | 0,0165 | 0,0510 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2319 |
| WEO | 0,0069 | 0,0092 | 0,0205 | 0,0199 | 0,0516 | 0,0294 | 0,0752 | 0,0224 | 0,2352 |
| DEPSO | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0130 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0382 | 0,2496 |
| VPS | 0,0069 | 0,0141 | 0,0206 | 0,0141 | 0,0519 | 0,0296 | 0,0809 | 0,0382 | 0,2565 |
| JAYA | 0,0069 | 0,0081 | 0,0200 | 0,0230 | 0,0534 | 0,0318 | 0,0765 | 0,0384 | 0,2582 |
| MPA | 0,0074 | 0,0074 | 0,0203 | 0,0152 | 0,0550 | 0,0318 | 0,0835 | 0,0388 | 0,2594 |
| IGWO | 0,0077 | 0,0080 | 0,0199 | 0,0145 | 0,0555 | 0,0320 | 0,0828 | 0,0391 | 0,2595 |
| DE | 0,0069 | 0,0146 | 0,0208 | 0,0407 | 0,0524 | 0,0291 | 0,0754 | 0,0218 | 0,2617 |
| EOF | 0,0069 | 0,0142 | 0,0207 | 0,0401 | 0,0520 | 0,0304 | 0,0784 | 0,0206 | 0,2634 |
| COA | 0,0070 | 0,0092 | 0,0203 | 0,0290 | 0,0534 | 0,0318 | 0,0785 | 0,0386 | 0,2678 |
| CGO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0104 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0808 | 0,0388 | 0,2694 |
| HNO | 0,0075 | 0,0076 | 0,0207 | 0,0248 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0838 | 0,0388 | 0,2704 |
| SC-SAHIEL | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0399 | 0,0518 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0382 | 0,2731 |
| GWO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0539 | 0,0318 | 0,0825 | 0,0388 | 0,2754 |

Примечание: приведены округлённые до 4 знака величины медианы SSE.

наименьших по сравнению с другими алгоритмами величин SSE, делал это лишь в небольшом количестве запусков (т.е. с меньшей вероятностью), демонстрируя в остальных случаях существенно менее конкурентоспособные результаты, что особенно заметно по результатам его работы в кластерах: 2, 4 и 8 (табл. 2).

В итоге, в рамках анализа методами непараметрической статистики было решено сопоставить результаты по следующим шести

алгоритмам: SC-SAHIEL, CS, MRFO, TLBO, FPA, а также FA (оказавшегося в тройке лучших по минимуму суммы медиан SSE и вошедший в десятку лидеров по минимуму SSE).

Результаты бутстреп-оценки (механизм которой детально описан в [71, с. 11–77]) средних величин SSE для изучаемых алгоритмов по итогам моделирования 5000 стратифицированных выборок на основе данных о результатах 15 запусков оптимизации

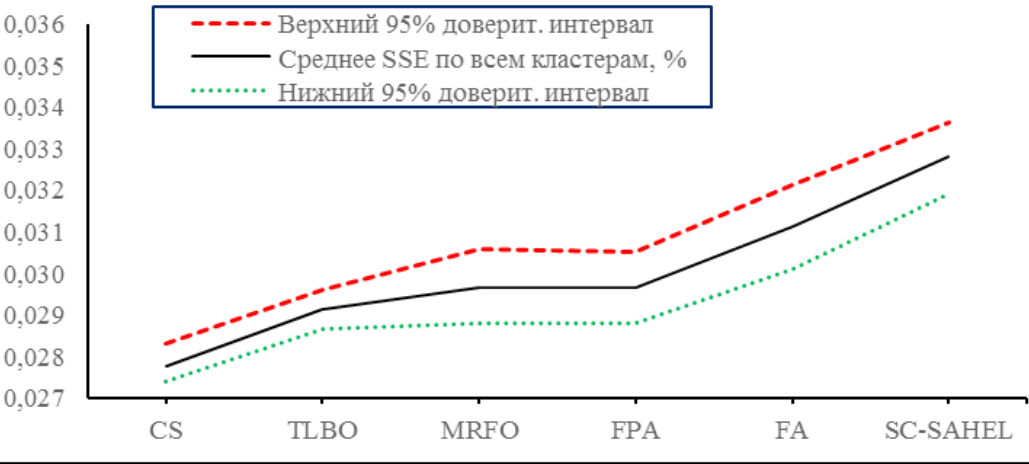


Рис. 1. Бутстреп-оценка результатов оптимизации модели DWM [выполнено авторами].



| Алгоритм=> | MRFO | TLBO | MRFO | TLBO |
|---|--------|--------|--|-------|
| pM-W по кластеру 1 (при НКВ=35,848; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 1 | |
| CS | 0,0000 | 0,0000 | -1,00 | -0,93 |
| MFRO | | 0,0002 | | +0,80 |
| pM-W по кластеру 2 (при НКВ=10,191; p=0,006) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 2 | |
| CS | 0,0081 | 0,6318 | -0,56 | -0,10 |
| MFRO | | 0,0045 | | +0,61 |
| pM-W по кластеру 3 (при НКВ=32,289; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 3 | |
| CS | 0,0003 | 0,0050 | -0,78 | +0,60 |
| MFRO | | 0,0001 | | +0,87 |
| pM-W по кластеру 4 (при НКВ=32,369; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 4 | |
| CS | 0,0322 | 0,0321 | -0,46 | +0,46 |
| MFRO | | 0,0051 | | +0,60 |
| pM-W по кластеру 5 (при НКВ=29,366; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 5 | |
| CS | 0,0000 | 0,0000 | -1,00 | -1,00 |
| MFRO | | 0,9174 | | -0,02 |
| pM-W по кластеру 6 (при НКВ=19,371; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 6 | |
| CS | 0,0106 | 0,0000 | -0,54 | -0,84 |
| MFRO | | 0,0174 | | -0,44 |
| pM-W по кластеру 7 (при НКВ=20,365; p<0,0001) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 7 | |
| CS | 0,0000 | 0,0014 | -0,89 | -0,68 |
| MFRO | | 0,0922 | | +0,36 |
| pM-W по кластеру 8 (при НКВ=10,289; p=0,006) | | | DTMD_{αβ} по кластеру 8 | |
| CS | 0,2297 | 0,0004 | -0,25 | -0,75 |
| MFRO | | 0,1908 | | -0,28 |

Рис. 2. Результаты непараметрического анализа результатов оптимизации DWM [выполнено авторами].
 НКВ-тестовая статистика Краскела-Уоллеса; p – статистическая значимость теста Краскела-Уоллеса;
 pM-W – статистическая значимость теста Манна-Уитни.

в каждом из кластеров (рис. 1), характеризующие общую оценку эффективности (в дополнение к ранее полученным оценкам на основе суммы минимумов и медиан), свидетельствуют о том, что на начальных этапах поиска неизвестных параметров нелинейных моделей для целей анализа ценовой эластичности предпочтительно не начинать оптимизацию с использования FA и SC-SAHEL. Также к недостаткам этих алгоритмов следует отнести необходимость установки большого количества стартовых метапараметров оптимизации (восемь для FA и более десяти для SC-SAHEL), в отличие от двух для TLBO, и трёх для CS, MRFO и FPA.

Для формирования окончательного заключения для трёх лучших (по результатам бутстреп-оценки) алгоритмов была проведена оценка статистической значимости различий SSE (по результатам 15 запусков) на основе расчёта непараметрического теста Краскела-Уоллеса [72, с. 559–581] с последующим

проведением попарных сравнений на основе метода Манна-Уитни [72, с. 540–550]. Кроме того, для удобства оценки степени превосходства одного алгоритма над другим (при попарных сравнениях в рамках аналитических матриц) авторами была разработана (формула 11) специализированная метрика $DTMD_{\alpha\beta}$, значения которой находятся в интервале от –1 (когда все величины SSE у алгоритма α ниже, чем у алгоритма β) до +1 (когда все величины SSE алгоритма β меньше, чем у алгоритма α).

$$\begin{aligned}
 DTMD_{\alpha\beta} &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{\beta i}}{\sum_{z=n+1}^{2n} z - \sum_{z=1}^n z} = \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{\beta i}}{\frac{n(n+1+2n)}{2} - \frac{n(n+1)}{2}} = \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{\beta i}}{n^2},
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Таблица 6

Ранжирование алгоритмов по минимуму SSE для модели Ричардса
[выполнено авторами]

| Алгоритм | Исследуемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Итого |
| Минимум SSE* по результатам 15 запусков алгоритма, ед. | | | | | | | | | |
| CS | 0,0073 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0278 | 0,2209 |
| MRFO | 0,0073 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0278 | 0,2210 |
| TLBO | 0,0075 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0287 | 0,0683 | 0,0313 | 0,2252 |

Примечание: приведены округлённые до 4 знака величины минимума SSE.

где $\sum_{i=1}^n v_{ai}$, $\sum_{i=1}^n h_{bi}$ – суммы ранговых мест, получаемые по методу Манна–Уитни при попарном сравнении величин SSE в выборках алгоритма α (отражаемого в аналитической матрице по вертикали) и алгоритма β (отражаемого в аналитической матрице по горизонтали);

$$\sum_{z=n+1}^{2n} z - \sum_{z=1}^n z \text{ – максимальная разница между}$$

суммами ранговых мест при объединении двух выборок одинакового размера n , наблюдаемая в случае, когда все величины SSE в одной из выборок окажутся ниже любого значения SSE в другой выборке.

Результаты непараметрического анализа (рис. 2) свидетельствуют о том, что во всех кластерах у сравниваемых алгоритмов различия в средних оценках SSE не являются случайными, так как статистическая значимость теста Краскела–Уоллеса ниже порогового уровня в 0,05. Анализ оценок тестов Манна–Уитни с использованием порогового уровня в 0,05/3, согласно поправке Бонферрони (см. [72, с. 565–566]), совместно с результатами расчёта $DTMD_{\alpha\beta}$, позволяют заключить, что алгоритм CS является наиболее предпочтительным, так как демонстрирует статистически значимо лучшие результаты в кластерах 1, 5, 6, 7, а также не уступает другим алгоритмам на кластерах 2 и 8.

Результаты оценки минимума SSE для модели Ричардса (табл. 6) также подтверждают эффективность алгоритма CS, хотя, в данном случае, его преимущество перед MRFO оказывается несущественным.

На основе сравнения минимумов SSE (табл. 4 и табл. 6), полученных при использовании эвристических алгоритмов оптимизации, можно заключить, что функциональная форма DWN выглядит несколько более предпочтительной, чем модель Ричардса. Также, хотя суммарный минимум SSE для модели DWM при оптимизации алгоритмом CS несколько выше, чем у модели Перла–Рида при оптимизации алгоритмом LM, сравнение результатов отдельно в каждом из кластеров (табл. 1 и табл. 4) показывает, что DWM даёт более эффективные оценки в пяти кластерах из восьми, что позволяет считать эту модель более универсальной. При этом использование рассматриваемых эвристических алгоритмов оптимизации для модели Перла–Рида оказывается менее эффективным, чем изначальное использование алгоритма LM (табл. 7).

Таким образом, функциональную форму DWM с оптимизацией параметров алгоритмом CS можно рекомендовать как конкурентоспособную альтернативу в анализе ценовой эластичности спроса, в слу-

Таблица 7

Эффективность эвристической оптимизации для модели Перла–Рида по сравнению с использованием алгоритма LM [выполнено авторами]

| Алгоритмы | Исследуемый кластер данных в массиве исходной информации | | | | | | | |
|-----------|--|-------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Сотношение минимумов SSE (по результатам 15 запусков), % | | | | | | | |
| CS/LM | 100,3 | 100,0 | 132,3 | 126,3 | 100,0 | 100,0 | 102,3 | 100,3 |
| MRFO/LM | 100,0 | 100,8 | 147,3 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 113,1 | 101,4 |
| TLBO/LM | 103,5 | 100,1 | 147,1 | 127,3 | 100,1 | 100,0 | 113,1 | 106,8 |



чае, когда использование модели Перла–Рида не обеспечило заданных менеджментом параметров эффективности.

Выводы

В рамках развития механизмов управления ценами транспортных услуг рассмотрены перспективы совершенствования аппарата моделирования поведения клиентов на основе применения различных форм нелинейных функций анализа ценовой эластичности спроса, а также перехода к использованию эвристического инструментария глобальной оптимизации.

На основе использования массива данных о спросе пассажиров рассмотрены перспективы применения 15 нелинейных по параметрам функций для моделирования ценовой эластичности спроса, кроме того, для выявления наиболее перспективного инструментария оценки их параметров проведено сравнение эффективности более 60 алгоритмов оптимизации.

Несмотря на использование в анализе данных о ценовой эластичности спроса пассажиров фирменных поездов, представляется, что сформированные выводы о перспективных направлениях развития механизмов управления ценами транспортных услуг могут быть успешно использованы применительно и к другим видам транспорта.

Важным направлением дальнейших исследований является разработка механизмов интеграции предлагаемых подходов со специализированными методами конкурентного анализа и инструментарием оценки оптимальной составности поездов для их последующего совместного использования в рамках динамической системы ценообразования для повышения эффективности функционирования транспортной отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пастухов С. С. Определение основных путей повышения эффективности работы вагонов-ресторанов на основе маркетингового анализа // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 2. – С. 42–47. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12964535>. Доступ 29.04.2021.
2. Пастухов С. С. Разработка методов исследования качества транспортного обслуживания населения в сфере железнодорожных пассажирских перевозок дальнего следования / Дис... канд. экон. наук. – М.: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ, 2011. – 204 с.

3. Мирошникенко О. Ф., Пастухов С. С. Формирование оптимальных тарифов на абонементные билеты в пригородном сообщении на основе методов математического моделирования // Экономические проблемы развития железнодорожного транспорта на этапах его инновационных и структурных преобразований: Сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. О. Ф. Мирошникенко. – М.: Интекст, 2009. – С. 51–62. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20617233>. Доступ 29.04.2021.

4. Комаров Л. К. Динамическое ценообразование и управление доходностью пассажирских перевозок // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 1. – С. 27–30. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17759770&>. Доступ 29.04.2021.

5. Мирошникенко О. Ф., Венедиктов Г. Л., Кочетков В. М., Пастухов С. С. Методы реализации системы управления доходностью применительно к пассажирскому железнодорожному сообщению // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 6. – С. 10–15. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15506258>. Доступ 29.04.2021.

6. Мирошникенко О. Ф., Венедиктов Г. Л., Кочетков В. М., Пастухов С. С. Реализация экономико-математических моделей в автоматизированных системах управления рентабельностью пассажирских перевозок // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 4. – С. 33–39. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16555647>. Доступ 29.04.2021.

7. Пастухов С. С. Определение оптимальных цен на новые услуги в поездах дальнего следования на основе методов математического моделирования // Проблемы железнодорожного транспорта: Сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. Г. В. Гогричиани. – М.: Интекст, 2011. – С. 10–20. ISBN 978-5-89277-102-3.

8. Пастухов С. С. Совершенствование механизма поиска оптимальных цен на новые услуги в поездах дальнего следования на основе применения нелинейных по параметрам моделей анализа ценовой эластичности спроса // Вестник ВНИИЖТ. – 2015. – № 4. – С. 50–59. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23815283>. Доступ 29.04.2021.

9. Пастухов С. С., Стельмашенко К. В. Совершенствование механизмов сравнительного маркетингового анализа тарифов на рынке пассажирских перевозок дальнего следования в условиях развития систем динамического управления доходностью // Вопросы развития железнодорожного транспорта: сборник трудов учёных АО «ВНИИЖТ» / Под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. – М.: РАС, 2017. – С. 53–62. ISBN 978-5-9909147-3-5.

10. Венедиктов Г. Л., Кочетков В. М. Комплексная оптимизация эксплуатации пассажирских поездов на базе автоматизированной системы управления рентабельностью пассажирских перевозок // Вестн. науч.-исслед. ин-та железнодорож. трансп. – 2020. – Т. 79. – № 6. – С. 343–350. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-343-350>.

11. Winston, Wayne L. Marketing Analytics Data-Driven Techniques with Excel. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2014, 722 p. ISBN 978-1-118-37343-9.

12. Haugom, E. Essentials of Pricing Analytics: Tools and Implementation with Excel. Routledge, 2020, 291 p. ISBN 978-0-367-36322-2.

13. Koç, H. Ratio-type estimators for improving mean estimation using Poisson regression method. Communications in Statistics - Theory and Methods, 2021, Vol. 50, Iss. 20, pp. 4685–4691. DOI: 10.1080/03610926.2020.1777307.

14. Ratkowsky, D., Olley, J., McMeekin, T., Ball, A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. Journal of Bacteriology, 1982, Vol. 149 (1), pp. 1–5. DOI: 10.1128/jb.149.1.1-5.1982.

15. Richards, F. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 1959, Vol. 10, No. 29, pp. 290–300. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>.
16. Van Boekel, M. On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, Vol. 74, Iss. 1–2, pp. 139–159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00742-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00742-5).
17. Corradini, M., Normand, M., Eisenberg, M., Peleg, M. Evaluation of a Stochastic Inactivation Model for Heat-Activated Spores of *Bacillus* spp. *Applied & Environmental Microbiology*, 2010, Vol. 76, No. 13, pp. 4402–4412. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.02976-09>.
18. Moré, J. J. The Levenberg-Marquardt Algorithm: Implementation and Theory. In: Watson, G.A. (eds) *Numerical Analysis. Lecture Notes in Mathematics*, 1978, Vol. 630. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 105–116. <https://doi.org/10.1007/BFb0067700>.
19. Nocedal, J., Wright, S. *Numerical Optimization*. Second Edition. Springer Verlag, New York, 2006, XXII, 664 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-40065-5>.
20. Matsumoto, M., Nishimura, T. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulations*, 1998, Vol. 8, Iss. 1, p. 3–30. DOI: <https://doi.org/10.1145/272991.272995>.
21. Kavesh, A., Bakhshpoori, T. *Metaheuristics: Outlines, MATLAB Codes and Examples*. Springer, 2019, XII, 190 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04067-3>.
22. Socha, K., Dorigo, M. Ant colony optimization for continuous domains. *European Journal of Operational Research*, 2008, Vol. 185, Iss. 3, pp. 1155–1173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.046>.
23. Zhao, W., Wang, L., Zhang, Z. Artificial ecosystem-based optimization: a novel nature-inspired meta-heuristic algorithm. *Neural Computing and Applications*, 2020, Vol. 32, Iss. 13, pp. 9383–9425. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04452-x>.
24. Mirjalili, S., Lewis, A., Sadiq, A. S. Autonomous Particles Groups for Particle Swarm Optimization. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2014, Vol. 39, Iss. 6, pp. 4683–4697. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1156-x>.
25. Mirjalili, S. The Ant Lion Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 2015, Vol. 83, pp. 80–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.01.010>.
26. Abualigah, L., Younsri, D., Elaziz, M. Abd, Ewees, A., Al-qaness, M. A. A., Gandomi, A. H. Aquila Optimizer: A novel meta-heuristic optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, Vol. 157, pp. 1–59. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250>.
27. Yang, Xin-She. *Optimization Techniques and Applications with Examples*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2018, 384 p. ISBN 978-1-119-49062-3.
28. Simon, D. Biogeography-Based Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2008, Vol. 12, No. 6, pp. 702–713. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2008.919004>.
29. Pham, Q. T., Pham, D. T., Castellani, M. A. modified bees algorithm and a statistics-based method for tuning its parameters. *Journal of Systems and Control Engineering*, 2012, Vol. 226, Iss. 3, pp. 287–301. DOI: <https://doi.org/10.1177/0959651811422759>.
30. Pham, D. T., Castellani, M. The bees' algorithm – modelling foraging behaviour to solve continuous optimization problems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2009, Vol. 223, Iss. 12, pp. 2919–2938. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544062JMES1494>.
31. Passino, K. M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE control systems magazine*, 2002, Vol. 22, Iss. 3, pp. 52–67. DOI: [DOI: 10.1109/MCS.2002.1004010](https://doi.org/10.1109/MCS.2002.1004010).
32. Boucekara, H. R. E. H. Optimal power flow using black-hole-based optimization approach. *Applied Soft Computing*, 2014, Vol. 24, pp. 879–888. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.056>.
33. Brownlee, J. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Lulu, 2011, 436 p. ISBN 978-1-4467-8506-5.
34. Talatahari, S., Azizi, M. Chaos Game Optimization: a novel metaheuristic algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 2021, Vol. 54, pp. 917–1004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09867-w>.
35. Castro de, L. N., Zuben Von, F. J. Learning and optimization using the clonal selection principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, Vol. 6, No. 3, pp. 239–251. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2002.1011539>.
36. Pierzan, J., Coelho, L. Dos Santos. Coyote Optimization Algorithm: A New Metaheuristic for Global Optimization Problems. 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2018, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/CEC.2018.8477769>.
37. Clerc, M., Kennedy, J. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. In: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, Vol. 6, No. 1, pp. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.985692>.
38. Mirjalili, S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete and multi-objective problems. *Neural Computing and Applications*, 2016, Vol. 27, Iss. 4, pp. 1053–1073. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1920-1>.
39. Storn, R., Price, K. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 1997, Vol. 11, Iss. 4, pp. 341–359. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>.
40. Liu, H., Cai, Z., Wang, Y. Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization. *Applied Soft Computing*, 2010, Vol. 10, Iss. 2, pp. 629–640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.08.031>.
41. Ponce, P., Gutiérrez, A. M., Ramírez-Mendoza, R. A., Méndez, E., Ortiz, A., Balderas, D. A Practical Approach to Metaheuristics using LabVIEW and MATLAB. Chapman & Hall/CRC, 2020, 186 p. ISBN 9780367337049.
42. Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Stephens, B. Mirjalili, S. Equilibrium optimizer: A novel optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 2020, Vol. 191, 105190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2019.105190>.
43. Yang, Xin-She. Firefly Algorithm, Lévy Flights and Global Optimization. In: Bramer, M., Ellis, R., Petridis, M. (eds) *Research and Development in Intelligent Systems XXVI*. Springer, London, UK, 2010, pp. 209–218. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-983-1_15.
44. Chen, Z.-Q., Wang, R.-L. An efficient real-coded genetic algorithm for real-parameter optimization. In: 2010 Sixth International Conference on Natural Computation, 2010, pp. 2276–2280. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584209>.
45. Yiyi, Zhang; Zhigang, Jin; Mirjalili, S. Generalized normal distribution optimization and its applications in parameter extraction of photovoltaic models. *Energy Conversion and Management*, 2020, Vol. 224, 113301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113301>.
46. Saremi, S., Mirjalili, S., Lewis, A. Grasshopper Optimization Algorithm: Theory and Application. *Advances in Engineering Software*, 2017, Vol. 105, pp. 30–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.
47. Coelho, L. Dos Santos. Gaussian quantum-behaved particle swarm optimization approaches for constrained engineering design problems. *Expert Systems with Applications*, 2010, Vol. 37, Iss. 2, pp. 1676–1683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.044>.



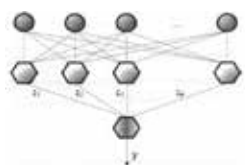
48. Xiang, Y., Sun, D. Y., Fan, W., Gong, X. G. Generalized simulated annealing algorithm and its application to the Thomson model. *Physics Letters A*, 1997, Vol. 233, Iss. 3, pp. 216–220. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0375-9601\(97\)00474-X](https://doi.org/10.1016/S0375-9601(97)00474-X).
49. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 2014, Vol. 69, pp. 46–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.
50. Askari, Q., Saeed, M., Younas, I. Heap-based optimizer inspired by corporate rank hierarchy for global optimization. *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 161, 113702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113702>.
51. Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., Chen, H. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 2019, Vol. 97, pp. 849–872. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>.
52. Nadimi-Shahraki, M. H., Taghian, S., Mirjalili, S. An improved grey wolf optimizer for solving engineering problems. *Expert Systems with Applications*, 2021, Vol. 166, pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113917>.
53. Zhang, J., Sanderson, A. C. JADE: Adaptive Differential Evolution With Optional External Archive. In: *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 2009, Vol. 13, No. 5, pp. 945–958. DOI: <http://doi.org/10.1109/TEVC.2009.2014613>.
54. Parsopoulos, K. E., Vrahatis, M. N. Particle Swarm Optimization and Intelligence. *Advances and Applications*. IGI Global, 2010, 328 p. DOI: 10.4018/978-1-61520-666-7.
55. Mehrabian, A.R., Lucas, C. A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. *Ecological Informatics*, 2006, Vol. 1, Iss. 4, pp. 355–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2006.07.003>.
56. Venkato Rao, R. Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2016, Vol. 7, No. 1, pp. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.5267/J.IJIEC.2015.8.004>.
57. Villuendas-Rey, Y., Velázquez-Rodríguez, J. L., Alanis-Tamez, M. D., Moreno-Ibarra, M.-A., Yáñez-Márquez, C. Mexican Axolotl Optimization: A Novel Bioinspired Heuristic. *Mathematics*, 2021, Vol. 9, No. 7, 781. DOI: <https://doi.org/10.3390/math9070781>.
58. Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Mirjalili, S., Gandomi A. H. Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic. *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 152, 113377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113377>.
59. Zhao, W., Zhang, Z., Wang, L. Manta ray foraging optimization: An effective bio-inspired optimizer for engineering applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020, Vol. 87, 103300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103300>.
60. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Hatamlou, A. Multi-Verse Optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications*, 2016, Vol. 27, Iss. 2, pp. 495–513. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1870-7>.
61. Gálvez, J., Cuevas, E., Hinojosa, S., Avalos, O., Pérez-Cisneros, M. A reactive model based on neighborhood consensus for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 2019, Vol. 121, pp. 115–141. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.018>.
62. Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., Wright, P. E. Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions. *SIAM Journal of Optimization*, 1998, Vol. 9, Iss. 1, pp. 112–147. DOI: <http://doi.org/10.1137/S1052623496303470>.
63. Zhang, J., Xiao, M., Gao, L., Pan, Q. Queuing search algorithm: A novel metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Applied Mathematical Modelling*, 2018, Vol. 63, pp. 464–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.06.036>.
64. Rahnayam Naeini, M., Yang, T., Sadegh, M., AghaKouchak, A., Hsu, K., Sorooshian, S., Duan, Q., Lei, X. Shuffled Complex-Self Adaptive Hybrid Evolution (SC-SAHEL) optimization framework. *Environmental Modelling and Software*, 2018, Vol. 104, pp. 215–235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.019>.
65. Duan, Q. Y., Gupta, V. K., Sorooshian, S. Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1993, Vol. 76, pp. 501–521. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00939380>.
66. Gomes, G. F., da Cunha, S. S., Ancelotti, A. C. A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates. *Engineering with Computers*, 2019, Vol. 35, pp. 619–626. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0620-8>.
67. Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., Mirjalili, S. M. Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, 2017, Vol. 114, pp. 163–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002>.
68. Han, J., Yang, C., Zhou, X., Gui, W. A Two-stage State Transition Algorithm for Constrained Engineering Optimization Problems. *International Journal of Control Automation and Systems*, 2018, Vol. 16, Iss. 2, pp. 522–534. DOI: <http://doi.org/10.1007/978-1-2555-016-0338-6>.
69. Bao, G. Q., Mao, K. F. Particle swarm optimization algorithm with asymmetric time varying acceleration coefficients. In: *2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2009, pp. 2134–2139. DOI: <http://doi.org/10.1109/ROBIO.2009.5420504>.
70. Mirjalili, S., Lewis, A. The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 2016, Vol. 95, pp. 51–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>.
71. Davison, A. C., Hinkley, D. V. *Bootstrap Methods and their Application*. Cambridge University Press, 2006, 582 p. ISBN 0-521-57391-2.
72. Field, A. p. *Discovering Statistics Using SPSS*. 3th edition. London, SAGE Publications Ltd., 2009, 856 p. ISBN 978-1-84787-906-6.

Информация об авторах:

Пастухов Сергей Сергеевич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник Научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия, pastuhovsergey@bk.ru.

Степашенко Константин Владимирович – старший научный сотрудник Научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия, Stelmashenko.Konstantin@vniizht.ru.

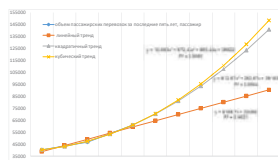
Статья поступила в редакцию 15.07.2021, одобрена после рецензирования 17.11.2021, принята к публикации 24.11.2021.



ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

62

Обобщённый анализ традиционных методов (экстраполяция, исторический анализ, аппроксимация) и перспективных инновационных подходов (на основе теории нечёткой логики и нейросетевого моделирования) для решения задачи прогнозирования интенсивности движения при строительстве платных автодорог.

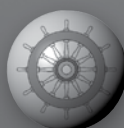


ПРОГНОЗ ПАССАЖИРОПОТОКА В ХУДЖАНДЕ

68

Использование имеющегося массива статистических данных по наличию транспортных средств, пассажиропотокам и моделирования для построения базовой модели прогноза будущих потребностей в пассажирских перевозках общественным автотранспортом. Эффективные решения в целях дальнейшего перспективного развития системы обслуживания пассажиров в городе Худжанд, в Республике Таджикистан.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

73

Комплексная работа, включающая ретроспективный анализ технических достижений, преваляровавших подходов к определению и расчёту скорости, анализ имеющихся проблем и путей решения, математические методы и комплексный подход к взаимосвязи скорости и других неотъемлемых характеристик перевозочного процесса.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.7.8

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-8>

Особенности методов оценки перспективной интенсивности движения при проектировании платных автодорог

**Константин Сергеевич Микрюков**

Государственная компания «Автодор», Москва, Россия.

✉ tkonstya@yandex.ru.**Константин МИКРЮКОВ****АННОТАЦИЯ**

При разработке проектов строительства новых дорог одной из главных характеристик, определяющих основные параметры дороги, является перспективная интенсивность движения. Именно от перспективной интенсивности зависят расчётная скорость; конструкция дорожной одежды; общее число полос движения; ширина полос движения и обочин; продольный уклон; радиус кривых в плане; поперечный уклон; радиус выпуклых и вогнутых кривых в продольном профиле; ширина разделительной полосы; схема пересечения и примыкания с другими дорогами.

Существующие методы прогнозирования интенсивности движения для платных автомагистралей также

имеют детерминированный характер и не могут служить оценке диапазона значений для перечисленных показателей.

В связи с этим целью исследования является выявление особенностей, достоинств и недостатков существующих методов оценки перспективной интенсивности движения для платных автомагистралей.

В процессе исследования рассмотрены как традиционные, классические методики (экстраполяция, исторический анализ, аппроксимация), так и перспективные инновационные подходы, базирующиеся на теории нечёткой логики и нейросетевом моделировании.

Ключевые слова: транспорт, проектирование автомобильных дорог, интенсивность движения, платная автомагистраль, моделирование транспортных потоков, пропускная способность.

Для цитирования: Микрюков К. С. Особенности методов оценки перспективной интенсивности движения при проектировании платных автодорог // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-8>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно строительство и содержание автомобильных дорог происходит за счёт государства (центральных и/или местных органов власти). Средства для финансирования дорог в основном формируются благодаря поступлению налоговых (акцизы, местные налоги), таможенных и других (дорожные сборы) платежей [1]. Во второй половине XX века во многих странах мира повысилась актуальность вопросов вредных выбросов автотранспорта и массовых пробок на дорогах.

Пробки на дорогах – это глобальная проблема, с которой приходится сталкиваться практически каждому человеку, живущему в большом городе. Это приводит к огромным потерям времени. К тому же быстрое развитие транспорта, особенно нынешнее неограниченное использование личных автомобилей, вызывает серьёзное загрязнение воздуха и энергетический кризис. Эти проблемы существенно ограничивают дальнейшее развитие инфраструктуры и городов по всему миру. В связи с этим на сегодняшний день существует острая необходимость в разработке адаптивной государственной политики и соответственно реализации эффективных мер, которые позволят преодолеть обозначенные проблемы, вызванные неустойчивыми транспортными системами, а впоследствии будут способствовать развитию эффективных, низкоуглеродных и энергосберегающих городских транспортных систем.

На первом этапе решения данных проблем некоторые страны начали строить платные дороги. Плата за проезд является одним из эффективных методов, который позволяет управлять спросом на дорожное движение. Также она широко известна как полезный инструмент для уменьшения заторов на дорогах и сокращения выбросов от транспортных средств [2]. Последние достижения в области информационных и коммуникационных технологий упростили внедрение схем дорожного ценообразования. В мире есть несколько хорошо известных успешных примеров электронного ценообразования на дорогах, в том числе схемы взимания платы за въездные дороги в Калифорнии, Сингапуре и Лондоне, которые базируются на расчёте среднегодовой суточной перспективной интенсивности движения.

В качестве перспективного обычно принимается период равный 20 годам. То есть, в течение 20 лет автомобильная дорога должна эффективно функционировать в тех параметрах, которые определяются категорией дороги и заданы на этапе её строительства [3]. Следовательно, в зависимости от надёжности установления среднегодовой суточной перспективной интенсивности движения на этапе проектирования дороги будет зависеть стоимость её строительства и эффективность функционирования в будущем.

При этом необходимо отметить, что существующие методики определения перспективной интенсивности движения для строительства новых платных дорог существенно отличаются в зависимости от спецификации методов, составляющих их основу, учёта тех или иных параметров автостреды, применяемых измерительных приборов, целей установления платы за проезд.

Поэтому с учётом вышеизложенного, изучение особенностей, возможностей, ограничений и сфер применения методов оценки перспективной интенсивности движения при строительстве платных дорог является актуальной научно-технической проблемой, решению которой и посвящена данная статья.

Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует о том, что вопросы платных дорог неоднократно становились предметом исследований отечественных и зарубежных авторов.

Наиболее комплексное раскрытие указанная проблематика получила в трудах В. И. Брызгалова, М. О. Карпушко [4], И. Г. Айю Андани, Л. Ла Пе Пуэлло, К. Т. Гёрса (I. G. Ayu Andani, L. La Paix Puello, Karst T. Geurs) [5].

Вопросами оптимального проектирования платных дорог с точки зрения устойчивого развития территорий занимались А. В. Вишневский, С. С. Игошин, М. О. Карпушко, И. Л. Бартоломей [6].

Прогнозированию параметров транспортных потоков с применением аналитических методов посвятили свои труды В. С. Андреев, О. А. Агеева [1; 7], Й. Х. Сусено, М. Агунг Вибово, Багус Харио Сетиаджи (Yudi Harto Suseno, Muhammad Agung Wibowo, Bagus Hario Setiadji) [8].

Однако, несмотря на большой спектр научных исследований по указанной проблематике, вопрос интенсивности движения по будущей автомагистрали, алгоритм её расчё-



та и определяющие факторы влияния, а также механизм корректировки с учётом изменений социально-экономического развития территории до сих пор остаются нерешёнными.

Таким образом, целью проведённого исследования является повышение точности обоснования технических параметров и расширение подходов к оценке перспективной интенсивности движения платных автомагистралей, через выявление недостатков и преимуществ в существующих методах обоснования перспективной интенсивности движения, которые не учитывают множество факторов.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Интенсивность является одним из основных показателей, который характеризует условия движения потока, и определяется количеством транспортных средств, пересекших улицу или дорогу в единицу времени [8]. Одной из особенностей данного показателя является то, что он изменяется во времени, и это изменение носит стохастический характер, полученные значения интенсивности могут значительно отличаться в течение определённых часов дня, дней недели, месяцев в году и т.д.

При сохранении существующих тенденций трафика рост интенсивности движения на платных дорогах рано или поздно достигнет уровня пропускной способности, что, в свою очередь, негативно отразится на условиях движения, вызовет снижение комфорта, заторы, повышение опасности на дорогах и так далее. Все эти факторы наносят вред здоровью людей и вызывают непредвиденные расходы для дорожного сектора, увеличивая энергоёмкость дорог [9].

На сегодняшний день на практике широко используются расчётные методы оценки перспективной интенсивности движения на платных автострадах, которые делятся на несколько больших групп.

Первая группа методов предполагает проведение расчётов исходя из перспективы социально-экономического развития региона, где планируется построить новую платную дорогу. В расчёт принимается широкий круг разнообразных данных, на основании которых можно определить степень влияния тех или иных факторов на интенсивность движения и выяснить, существует ли связь, и если да, то в какой форме (прямой, обратной, ли-

нейной или нелинейной) и какое уравнение может её описать, а также в какой степени интенсивность движения подвержена колебаниям (изменениям). К таким факторам относятся состояние, обустройство и благоустройство дорог; численность населения в районе исследования; состав транспортного потока; географические и климатические условия; наличие мест притяжения; плотность дорожной сети и др. Основу данных методов составляет экстраполяция. Точность прогнозирования развития интенсивности движения зависит от правильно выбранной гипотезы изменения этого процесса – темпа прироста.

Графики, построенные по данным учёта трафика в течение периода наблюдения, зачастую имеют точки с определённым разбросом, что позволяет, при обработке данных применять различные закономерности экстраполирования с практически одинаковой погрешностью. В результате рассчитываются прогнозные значения интенсивности [8].

Наибольшее распространение получили следующие гипотезы:

1. Рост интенсивности движения соответствует линейной зависимости:

$$N_t = N_0 (1 + q)t, \quad (1)$$

где N_t – перспективная интенсивность через t лет (расчётная), авт/д;

N_0 – интенсивность в год проектирования (фактическая), авт/д;

q – динамика прироста/сокращения интенсивности в долях от интенсивности за предыдущий год.

2. Возрастающие темпы прироста интенсивности движения:

$$N_t = N_0 (1 + q)^t, \quad (2)$$

3. Перспективная интенсивность движения выражается логистической кривой с начальным стремительным ростом, который со временем переходит в незначительный прирост:

$$N_t = N_0 \left[1 + 0,01 \left(k_1 t + k_2 \sum_{i=1}^n t_i^{\frac{1}{3}} \right) \right], \quad (3)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, полученные экспериментальным путём и зависящие от начального прироста интенсивности, определяются по выражению [11]:

$$k_1 = 6,7 - 0,3q_n, \quad (4)$$

$$k_2 = 1,3q_n - 6,7. \quad (5)$$

4. Перспективная интенсивность движения может быть определена полиномом следующего вида:

$N_i = N_0 + a_i + b_{i2} + c_{i3} + \dots + m_m$, (6)
где $a, b, c \dots m$ – коэффициенты, полученные экспериментальным путём.

В указанном многочлене количество членов ряда зависит от типа кривой и данных об интенсивности движения.

Вторая группа базируется на исторически сложившихся объёмах трафика на аналогичных дорогах, на основании чего составляется прогноз об изменениях интенсивности в течение расчётного периода. Данный метод позволяет получить очень усреднённую, приблизительную оценку, которая характеризуется значительным уровнем неточности, поэтому данные методы целесообразно использовать только на первоначальном этапе проектирования строительства платных автодорог с дальнейшим обязательным уточнением полученных данных.

Третью группу составляют методы, основанные на многофакторном анализе, но их следует использовать только для тех районов, где собрана широкая база данных об интенсивности движения и факторах, влияющих на неё.

Достаточно широкое распространение в зарубежной практике в процессе оценки интенсивности трафика получило использование аппроксимирующих функций. Для реализации этого метода необходим исходный ряд статических данных, который выравнивается графико-аналитическим или математическим подбором аналитической функции, позволяющей максимально приблизить теоретические и статистические данные в максимально возможной степени [12]. Данная группа методов имеет определённые сходства с вычислением интенсивности на основании исторических данных, но её несомненным преимуществом является возможность использовать цифровую обработку данных, а также отсутствие «жёстко» заданной априорной связи искомого решения с конкретной моделью, что позволяет методам показывать лучшие результаты в условиях неопределённости.

Итак, измерения проводятся на аналогичной магистрали на протяжении ограниченной выборки дней, рассчитываются среднее значение (M) и стандартное отклонение (S) ежедневной нагрузки в часы загруженности. Оценки нормального и высокого уровня нагрузки (L) осуществляются по формуле:

$$L = M + k \cdot S, \quad (7)$$

различные значения коэффициента k используются для нормального и высокого уровней нагрузки.

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M)^2 \right]^{1/2}, \quad (8)$$

где X_i – согласованный по времени трафик в часы загруженности, измеренный в i -й день;

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \text{ – среднее выборочное значение;}$$

n – количество дней измерения.

Если период измерения составляет менее 30 дней, то оценка будет не очень надёжной. В этом случае целесообразно провести специальные измерительные исследования для определения типичных значений стандартного отклонения (например, как функции среднего значения выборки).

Ряд авторов считает, что с целью проведения оценки перспективной интенсивности движения для проектов строительства платных автодорог недостаточно применять только методики на основе прямых экстраполяций, а целесообразно дополнительно использовать метод экспертных оценок и метод нейросетевого моделирования [13; 14].

Особого внимания заслуживает нейросетевое моделирование интенсивности транспортного потока в зависимости от экологической нагрузки и параметров проектируемой автотранспортной инфраструктуры. В этой связи возникает необходимость выделения в модели ключевых групп со смысловыми контекстно-зависимыми связями, что позволяет разделить модельный анализ на группы:

- Группа № 1. Анализ пространственно-временной интенсивности, данная группа содержит только информацию об интенсивности движения;

- Группа № 2. Пространственный анализ интенсивности, данная группа имеет информацию о плотности трафика, объектах дорожного сервиса и дорожной сети на прилегающей территории;

- Группа № 3. Пространственный анализ воздействия на окружающую среду, данная группа содержит возможные дорожно-транспортные происшествия, технические средства управления движением, транспортный поток и информацию о дорожной сети на прилегающей территории.

Решение проблемы прогнозирования, в каждой выбранной группе, включает вы-



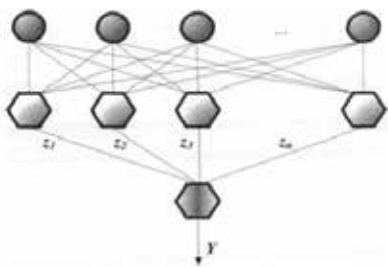


Рис. 1. Персептрон Розенблатта для прогнозирования интенсивности дорожного трафика на платной автомагистрали [выполнено автором].

полнение определённых шагов, таких, как исходная обработка данных, подбор шкалы измерений, создание модели для анализа, проверка пригодности модели для построенной модели по прогнозированию интенсивности движения на проектируемой автомагистрали. Исходная обработка включает в себя нормализацию данных, кодировку нечисловой информации и устранение связей. Главная цель исходной обработки заключается в максимизации энтропии распределения параметров данных [15]. Наибольшее значение энтропии позволяет использовать информацию, находящуюся во входном наборе данных, на предельном уровне, что в итоге благоприятно влияет на точность моделей нейронных сетей.

На рис. 1 представлена нейронная сеть, которая может быть использована для оценки перспективной интенсивности движения в процессе проектирования строительства платных автодорог.

Цель пространственно-временной модели нейронной сети состоит в том, чтобы предсказать объём трафика на участке автодороги на основе информации о фактической интенсивности в подобных точках в заданный момент времени. Модель будет выполнять расчёт по разности шаблонных операций, которые соединяют значение фактической интенсивности со значением интенсивности в заданный момент времени.

С учётом вышеизложенного для синтеза прогноза интенсивность движения формально представляется следующим образом:

$$I = \langle \Omega, G, X, Y, U, T, \rho, \gamma, \zeta \rangle,$$

где $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{n \times m}\}$ – диапазон условий функционирования автомагистрали;

$G = \langle V, (D, W) \rangle$ – модель перекрёстков, примыканий, представленная графом G в пространстве R ;

$V = \{v_i\}$ – графические вершины (узлы), соответствующие узлам перспективного трафика;

$D \subseteq V \times V$ – набор диаграмм по участку дороги и дорожной сети с весовыми коэффициентами $W = \langle \wedge, P, Z \rangle$ (интенсивность, скорость и состав дорожного движения на заданном участке дороги);

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – набор свойств и детерминант, которые описывают состояние дороги и принимают свои собственные значения;

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ – диапазон исходных значений (количество и типы транспортных средств, поворотов, перекрёстков, пешеходных переходов и т.д.);

$U = \{U_1, U_2, \dots, U_i\}$ – диапазон возможных режимов движения по автодороге;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots\}$ – дискретное или непрерывное время;

$\rho: X \times U \times T \rightarrow \Omega$ – описание изменений в состоянии объекта в заданном состоянии (динамика интенсивности движения при изменении внешних параметров);

$\rho: \Omega \times T \rightarrow Y$ – заключение с описанием наблюдений за динамикой интенсивности движения (оценки, выводы и т.д.);

ζ – внешние неконтролируемые факторы, влияющие на изменения интенсивности.

Отдельного внимания в процессе анализа методов оценки перспективной интенсивности движения для проектов на строительство платных автодорог заслуживает ряд технических подходов, из числа которых можно выделить следующие:

1. Методы понижающих коэффициентов теоретической пропускной способности, позволяющие определить максимальный объём потоков на автодороге или отдельных её элементах без учёта пропускной способности перекрёстков и примыканий. Недостатком этого метода является невозможность определить интенсивность движения на участке дороги между перекрёстками и примыканиями. Расхождение расчётных и фактических результатов расчёта максимальной интенсивности движения на участке автомобильной дороги с использованием данных методов составляет от 200 до 600 авт./час.

2. Методы определения максимальной интенсивности движения на основе функциональных зависимостей моделей транспортного потока «интенсивность–скорость».

Недостатком этого метода является отсутствие учёта влияния перекрестков и примыканий на интенсивность движения. Эти способы определяют лишь наибольшее значение интенсивности движения при средней скорости движения и при частичном учёте состава транспортного потока. Расхождение полученных результатов – от 200 до 400 авт./час.

3. Методы, основанные на использовании функциональных зависимостей «интенсивность–скорость», полученных на основе экспериментальных исследований. Также данные методы не делают поправки на перекрёстки и примыкания, в результате расхождение полученных результатов расчёта находится в пределе – от 100 до 300 авт./час.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие методики оценки перспективной интенсивности движения для проектов на строительство платных автодорог существенно отличаются между собой. Как правило, перспективную интенсивность движения определяют с помощью экстраполяции, аппроксимации накопленных статистических данных. Точность прогнозирования с использованием этих методов зависит от правильно выбранной гипотезы. Перспективными методиками являются те, которые базируются на теории нечёткой логики и нейросетевого моделирования, поскольку позволяют использовать современные методы высокоинтеллектуального анализа, основанного на методах упорядочивания и приведения качественных данных к количественной величине.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреюк В. С., Агеева О. А. К вопросу об организации проезда по платным дорогам. Анализ мирового опыта и российской практики и факторы повышения эффективности // Евразийский юридический журнал. – 2018. – № 4 (119). – С. 367–368. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34858461>. Доступ 27.08.2021.
2. Suwanto, F., Kurnianto, Y. F., Setiabudi, B., Sholeh, M. N. Toll road maintenance towards minimum service standard. IOP conference series. Earth and environmental science, 2021, Vol. 700, 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/700/1/012058.
3. Борисов А. И., Андреев Д. В. Проблемы эффективности платных дорог // Финансовая экономика. –

2018. – № 7. – С. 2160–2162. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36828855>. Доступ 27.08.2021.

4. Брызгалов В. И., Карпушко М. О. Особенности платных дорог для автомобильного транспорта на основе анализа российского и мирового опыта // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-техн. конференции. – 2020. – С. 58–61. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44183389&pf=1>. Доступ 27.08.2021.

5. Andani, I. G. Ayu, Puello, L., Geurs, K. T. Effects of toll road construction on local road projects in Indonesia. Journal of Transport and Land Use, 2019, Vol. 12, No. 1, pp. 179–199. DOI: 10.5198/jtlu.2019.1258.

6. Карпушко М. О., Бартоломей И. Л. Перспективы развития многофункциональных дорожных зон на территории Пермского края // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 3. – С. 77–93. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30103539>. Доступ 27.08.2021.

7. Андреюк В. С. Особенности системы бюджетного планирования и контроля исполнения бюджетов в сфере эксплуатации платных автомобильных дорог // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 1. – № 8. – С. 51–54. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26644536>. Доступ 27.08.2021.

8. Suseno, Yu. H., Wibowo, M. A., Setiadi, B. H. Risk Analysis of BOT Scheme on Post-construction Toll Road. Procedia Engineering, 2015, Vol. 125, pp. 117–123. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.018.

9. Setiawan, D., Milyardi, R., Ing, T., Rizkiana, C. Risk Allocation Model For Cismudawu Toll Road Projects. IOP conference series. Materials science and engineering, 2021, Vol. 1071, 012008. DOI: 10.1088/1757-899X/1071/1/012008.

10. Панкратова А. В., Ермилов А. С. Анализ методик повышения эффективности назначения перспективной интенсивности движения при проектировании автомобильных дорог // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 1 (27). – С. 30–32. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32497131>. Доступ 27.08.2021.

11. Halás, M., Kraft, S. Modeling and Prediction of Long-Distance Traffic Flows Through the Example of Road Transport in the Czech Republic. Scottish geographical journal, 2016, Vol. 132, Iss. 1, pp. 103–117. DOI: 10.1080/14702541.2015.1084029.

12. Nguyen, Tin T., Krishnakumari, P., Calvert, S. C., Vu, Hai L., Lint van, H. Feature extraction and clustering analysis of highway congestion. Transportation research. Part C. Emerging technologies, 2019, Vol. 100, pp. 238–258. DOI: 10.1016/j.trc.2019.01.017.

13. Zhao, L., Bi, Z., Lin, M., Hawbani, A., Shi, J., Guan, Y. An Intelligent Fuzzy-based Routing Scheme for Software-Defined Vehicular Networks. Computer Networks, 2021, Vol. 187, 107837. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.107837.

14. Ma, D., Sheng, B., Ma, X., Jin, S. Fuzzy hybrid framework with dynamic weights for short-term traffic flow prediction by mining spatio-temporal correlations. IET intelligent transport systems, 2020, Vol. 14, Iss. 2, pp. 73–81. DOI: 10.1049/iet-its.2019.0287.

15. Alkheder, Sh., AlRukaibi, F. Enhancing pedestrian safety, walkability and traffic flow with fuzzy logic. Science of the total environment, 2020, Vol. 701, 134454. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134454.

Информация об авторе:

Микрюков Константин Сергеевич – главный специалист Государственной компании «Автодор», аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, mkonstya@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 16.04.2021, одобрена после рецензирования 05.08.2021, принята к публикации 27.10.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.07:004.896
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-9>

Анализ состояния пассажирских перевозок в городе Худжанд и перспективы их развития



Рахимиддин САЛОМЗОДА



Музаффар БОБОЕВ

*Рахимиддин Салом Саломзода¹,
Музаффар Мухиддинович Бобоев²*

¹ Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан.

² Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Худжанд, Республика Таджикистан.

✉ ¹ salomzoda1975@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено состояние транспортного обслуживания города Худжанд, Республика Таджикистан. Особое внимание уделено развитию пассажирских маршрутов автомобильного транспорта.

В рамках анализа перспектив развития общественного транспорта предложен авторский метод анализа перспектив потребностей в пассажирских перевозках, который основывается на выстраивании трендов с использованием ряда математических моделей, в том числе реляционной модели, на основе обработки массива статистических данных по объемам пассажиропотоков в прошлые периоды. Модель прогноза подтвердилась за счёт сравнения аналитических и фактических данных на год исследования.

Расчётные тренды роста потребности в пассажироперевозках также нашли подтверждение в экспертных оценках.

На основе анализа прогнозируется рост спроса на пассажирские перевозки общественным транспортом в городе Худжанд.

Представленные методы являются базовыми. В целях более точного планирования хозяйственной деятельности использованию подлежат более точные инструменты прогнозирования. Тем не менее, совпадение общего тренда на ускоренное увеличение объёма пассажироперевозок при использовании различных базовых методов позволяет выстраивать долгосрочную стратегию развития городского транспорта.

Ключевые слова: пассажирское обслуживание, автомобильный транспорт, объём пассажироперевозок, автобус, качество обслуживания, прогнозирование, математический модуль.

Для цитирования: Саломзода Р. С., Бобоев М. М. Анализ состояния пассажирских перевозок в городе Худжанд и перспективы их развития // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-9>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В Таджикистане в силу географических условий особое внимание уделяется развитию автомобильного транспорта, который является доминирующим видом транспорта по перемещению людей. Развитие автомобильных дорог с разработкой новых методов организации пассажирских перевозок в Республике происходит с применением современных автоматизированных систем управления движением.

Основными тенденциями современного периода являются¹:

- преобразование городских улиц и тротуаров по назначению и типу движения с целью повышения равномерности движения;
- системный подход к решению проблем городской транспортной сети путём привязки линий всех видов городского транспорта;
- максимальное устранение точек конфликта и проведение транспортного потока на разных уровнях;
- расширение городских скоростных магистралей.

Уже два года Государственное коммунальное предприятие «Мусофиркашони дар шаҳри Худжанд» предоставляет свои услуги населению в городе. Его парк составляют 104 автобуса марок ЛиАЗ 429260 (25 единиц), ЛиАЗ 529265 (75 единиц) и ТАТА (4 единицы).

На основании наблюдений на объектах транспортной инфраструктуры и собранных статистических данных были проанализированы пассажироперевозки, пассажиропотоки, количество оборотов транспортных средств и их общее число (таблица 1).

Анализ показал, что пассажирский транспорт города Худжанд не смог полностью выполнить планы по обращению автобусов в 2019 году в соответствии с предварительными расчётами. Автобусы не отработали своё время в соответствии с установленными нормами и нормативными актами.

В ходе наблюдений было выявлено, что транспортные услуги особенно востребованы жителями города с 5⁰⁰ до 22⁰⁰ часов, но, к сожалению, автобусы работают с 5⁰⁰ до 19⁰⁰ часов, а на некоторых маршрутах они работают лишь до 18⁰⁰ часов. В связи с этим запланированное количество оборотов не выполняется.

¹ Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года. Утверждена Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 1 октября 2016 года, № 392.

Объём пассажирских перевозок традиционно уменьшается летом, а в другие сезоны растёт. Причиной снижения пассажиропотока в три летних месяца являются каникулы у студентов и школьников. Согласно статистике, порядка 30–35 % пассажиров – это студенты, школьники и работники сферы образования².

Сегодня востребованность транспортных услуг постоянно растёт, растут объём пассажироперевозок и потребность в общественном транспорте.

Очевидно, что необходимо заблаговременно прогнозировать пассажиропоток на ближайшие годы и, основываясь на этих данных, делать правильный выбор состава автопарка и повышать качество обслуживания пассажиров. Эти шаги позволят и повысить прибыльность самих транспортных предприятий, и дать серьёзный импульс развитию всей экономики Таджикистана.

Для достижения поставленной цели, а именно, анализа состояния пассажирских перевозок города Худжанд и определения перспективы его развития на ближайшее будущее, необходимо использовать математические методы анализа, дающие адекватные решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для того, чтобы сделать прогноз изменения пассажиропотоков на среднесрочный период, необходимо проанализировать пассажироперевозки в Худжанде за несколько прошедших лет. Объём пассажироперевозок в Худжанде за последние пять лет представлен следующими статистическими данными (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что объём пассажирских перевозок увеличивается из года в год. В 2019 году по сравнению с 2015 годом объём пассажирских перевозок увеличился на 51,6 %. Используя эти данные, мы можем рассчитать прогноз до 2025 года. Для этого мы используем модель прогнозирования.

Модель есть абстрактное представление реальности в какой-либо форме (например, в математической, физической, символической, графической или дескриптивной), предназначенное для представления опреде-

² Таджикистан в цифрах 2019: Статистический сборник. – Душанбе, 2019.





Таблица 1

Показатели работы автобусов по месяцам 2019 г. [составлено авторами]

| Месяцы года | Количество оборотов | | Количество перевезённых пассажиров, чел. | Пассажирооборот, пасс.-км | Пассажирооборот, пасс.-км | |
|--------------|---------------------|-------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------|
| | По плану | Фактическое | | | Всего | С пассажирами |
| Январь | 38090 | 25367 | 1899834 | 28512158 | 566373 | 556916 |
| Февраль | 32444 | 24269 | 2029321 | 30577002 | 543637 | 535521 |
| Март | 32738 | 25073 | 1994136 | 30175980 | 565297 | 556065 |
| Апрель | 32818 | 24272 | 1937239 | 29484286 | 557546 | 548093 |
| Май | 33258 | 22402 | 1900677 | 28454251 | 571911 | 563199 |
| Июнь | 30584 | 22987 | 1602420 | 24083188 | 533920 | 527056 |
| Июль | 29450 | 21477 | 1460112 | 22299933 | 507947 | 501333 |
| Август | 25634 | 18449 | 1443757 | 22011988 | 449070 | 442562 |
| Сентябрь | 29584 | 21766 | 1854558 | 27849930 | 505511 | 498824 |
| Октябрь | 29752 | 21527 | 1930247 | 29025388 | 506235 | 498989 |
| Ноябрь | 27782 | 19871 | 1747894 | 26522211 | 471176 | 463964 |
| Декабрь | 27910 | 19763 | 1789615 | 27139416 | 476547 | 468578 |
| Всего в году | 370044 | 267223 | 21580810 | 326135731 | 6255170 | 6161100 |

Таблица 2

Объём пассажироперевозок в городе Худжанде (2015–2019 гг.) [составлено авторами]

| Годы | Объём перевозок пассажиров (тыс. пасс.) | Количество обслуживающего транспорта (единиц) | | |
|------|---|---|--------------------|---------------------|
| | | Всего | Общего пользования | Обслуживающие такси |
| 2015 | 40151,5 | 951 | 890 | 61 |
| 2016 | 43531,1 | 943 | 877 | 66 |
| 2017 | 46664,1 | 917 | 782 | 135 |
| 2018 | 53793,7 | 1057 | 895 | 162 |
| 2019 | 60863,7 | 940 | 725 | 215 |

Таблица 3

Расчёт показателей линейной формулы для расчёта объёма пассажироперевозок с 2020 до 2025 год [составлено авторами]

| Годы | Объём пассажироперевозок, тыс. пасс | X | x ² | x _y | yx = a + b • x |
|-------|-------------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|
| 2015 | 40151,5 | -2 | 4 | -80303 | 38663,4 |
| 2016 | 43531,1 | -1 | 1 | -43531,1 | 43832,1 |
| 2017 | 46664,1 | 0 | 0 | 0 | 49000,82 |
| 2018 | 53793,7 | +1 | 1 | 53793,7 | 54169,5 |
| 2019 | 60863,7 | +2 | 4 | 121727,4 | 59338,2 |
| Сумма | 245004,1 | 0 | Σ10 | 51687 | |
| 2020 | | +3 | | | 64506,9 |
| 2025 | | +8 | | | 90350,4 |

лённых аспектов этой реальности и позволяющее получить ответы на изучаемые вопросы.

Известны три типа моделей: иерархическая, сетевая и реляционная.

Иерархическая модель имеет структуру в виде дерева и выражает вертикальные связи подчинения нижнего уровня вышнему.

Сетевая модель является более сложной и отличается от иерархической модели наличием горизонтальных связей.

Реляционная модель преставляется в виде совокупности таблиц, над которыми выпол-

няются операции, формулируемые в терминах реляционной алгебры.

Для реализации нашей задачи используем математическую реляционную модель.

Математические модели формализуемы, то есть представляют собой совокупность взаимосвязанных математических и формально-логических выражений, как правило, отображающих реальные процессы и явления (физические, психические, социальные и т.д.).

Для подсчётов авторами используется метод математического моделирования. Гра-

фик данных, ранее приведённых в табл. 2, определён на основе линейного уравнения по следующей формуле:

$$ux = a + b \cdot x, \tag{1}$$

где ux – региональный оборот пассажиров, чел. (пассажиров);

x – период изучения пассажиров;

a – показатель среднего объёма пассажирских перевозок, пасс.;

b – показатели среднего объёма увеличения пассажироперевозок, пасс.

Средний пассажиропоток за последние пять лет (a) определяется по следующей формуле:

$$a = \frac{\sum y}{n}, \text{ пасс.}; \tag{2}$$

$$a = \frac{245004,1}{5} = 49000,82 \text{ тыс. пасс.}$$

Увеличение среднего количества пассажироперевозок (b) находим по следующей формуле:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2}, \text{ пасс.}; \tag{3}$$

$$b = \frac{51687}{10} = 5168,7 \text{ тыс. пасс.}$$

Показатели 2020 года определяем посредством экстраполяции ряда:

$$y = 49000,82 + 5168,7 \cdot 3 = 64506,9 \text{ тыс. пасс.}$$

После расчёта этих показателей результат выводится в табл. 3.

Таким образом, мы определили, что в 2020 году пассажироперевозки в Худжанде должны были составить 64506,9 тыс. пассажиров. К 2025 году пассажиропоток должен увеличиться на 48,4 % по сравнению с 2019 годом. По мнению учёных и исследователей, такие прогнозы близки к реальности и на их

Таблица 4
Трендовый анализ объёма пассажироперевозок

| № | Тип анализа | Показатели |
|---|--------------------|--|
| 1 | Линейный тренд | $y = 5168,7x + 33495,$ $R^2 = 0,9631$ |
| 2 | Квадратичный тренд | $y = 812,67x^2 + 292,67x + 39183,$ $R^2 = 0,9964$ |
| 3 | Кубический тренд | $y = 15,583x^3 - 672,42x^2 + 660,44x + 38922,$ $R^2 = 0,9965$ |

Источник: Расчёты авторов с использованием данных табл. 2.

основе можно планировать предварительные расчёты.

Проверим правильность этого метода прогнозирования с помощью программы Microsoft Excel. Подобные методы описаны в [3; 4]. С помощью этой программы мы выявим тренды увеличения в пассажирских перевозках.

Тренд – это тип входной функции, которую можно использовать для аппроксимации графика с данными в таблице. Тренд служит для определения восходящей тенденции, он получается в форме диаграммы и выполняет анализ для различных заданных периодов.

Получим формулы, используя функции программы Microsoft Excel.

Для получения данных составленные формулы приведены в следующей таблице (табл. 4).

По результатам расчётов, приведённых в табл. 4, составляется график (диаграмма) пассажироперевозок (рис. 1).

Используя функции Excel и данные табл. 4, можно также спрогнозировать динамику роста пассажиропотока в Худжанде на 2020–2025 годы, что показано в следующей таблице (табл. 5).

Таблица 5
Динамика роста пассажирских перевозок и прогноз их развития до 2025 года
[составлено авторами]

| № | Годы | Объёмы пассажироперевозок, тыс. пасс | Линейный тренд | Квадратичный тренд | Кубический тренд |
|----|------|--------------------------------------|----------------|--------------------|------------------|
| 1 | 2015 | 40151,5 | 38663,7 | 40288,34 | 40270,44 |
| 2 | 2016 | 43531,1 | 43832,4 | 43019,02 | 43057,22 |
| 3 | 2017 | 46664,1 | 49001,1 | 47375,04 | 47375,84 |
| 4 | 2018 | 53793,7 | 54169,8 | 53356,4 | 53319,79 |
| 5 | 2019 | 60863,7 | 59338,5 | 60963,1 | 60982,58 |
| 6 | 2020 | | 64507,2 | 70195,14 | 70457,69 |
| 7 | 2021 | | 69675,9 | 81052,52 | 81838,63 |
| 8 | 2022 | | 74844,6 | 93535,24 | 95218,9 |
| 9 | 2023 | | 80013,3 | 107643,3 | 110692 |
| 10 | 2024 | | 85182 | 123376,7 | 128351,4 |
| 11 | 2025 | | 90350,7 | 140735,4 | 148290,6 |



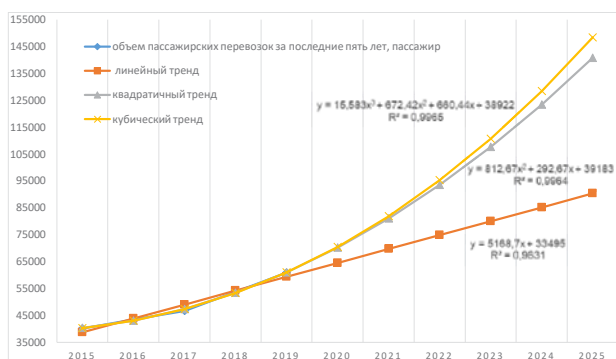


Рис. 1. Диаграмма изменения объема пассажироперевозок на 2020–2025 годы [составлена авторами].

КРАТКИЙ ВЫВОД

Полученные в результате применения методов математического моделирования прогнозы получили опосредованное подтверждение в результате интервью экспертов, согласившихся с обозначенными трендами.

Полученные результаты прогноза, демонстрирующие рост потребностей в перевозках пассажиров общественным транспортом города Худжанд, можно использовать для разработки соответствующих предварительных планов развития пассажирского транспорта с учётом удовлетворения потребности городского населения, улучшения качества услуг, а также создания автоматизированной системы управления пассажирским автомобильным транспортом.

Несмотря на то, что представленные методы являются базовыми и не обеспечивают точность прогноза, важно, что полученные различными методами результаты согласованы между собой в плане однозначного подтверждения тренда на рост потребностей. При планировании непосредственных мероприятий по развитию общественного транспорта в рамках хозяйственной деятельности подлежат использованию более точные инструменты прогнозирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бобиев Р. С., Шохмузафари С. Проблемы развития управления пассажирскими перевозками

города Душанбе // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: Сб. ст. по материалам III Международной научно-практической конференции «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». – № 1 (3). – М.: Изд. «Интернаука», 2016. – С. 289–298. [Электронный ресурс]: <https://www.internauka.org/archive2/moluch/1%283%29.pdf>. Доступ 06.07.2021.

2. Володькин П. П. Оптимизация транспортного обслуживания населения муниципальных образований с учётом социальных факторов / Автореферат. – Волгоград, 2011. – 42 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19353430>. Доступ 06.07.2021.

3. Дубина А. Г., Орлова С. С., Шубина И. Ю. и др. Excel для экономистов и менеджеров. – СПб.: Питер, 2004. – 295 с. [Электронный ресурс]: <https://obuchalka.org/2013111674529/excel-dlya-ekonomistov-i-menedjеров-dubina-a-g-orlova-s-s-shubina-i-u-hromov-a-v-2004.html>. Доступ 06.07.2021.

4. Гарнаев А. Ю. Microsoft Excel. Разработка приложений. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000. – 576 с. ISBN 5-8206-0091-6.

5. Спирин А. В., Якунина Н. В., Якунин Н. Н. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2013. – № 3. – С. 63–66. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18789397>. Доступ 06.07.2021.

6. Фаттидинов Б. Р., Бобиев Р. С., Бобоев М. М. Анализ современных обстоятельств обслуживания пассажиров автомобильным транспортом в городе Худжанде, проблемы и перспектива развития // Политехнический Вестник. – Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 2 (46). – С. 99–107. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Доступ 06.07.2021.

7. Бобоев М. М. Анализ пассажирских перевозок в Согдийской области // Научно-методический журнал «Academy». – 2018. – № 1 (28). – С. 36–41. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Доступ 06.07.2021. ●

Информация об авторах:

Саломзода Рахмиддин Салом – кандидат технических наук, доцент, заведующей кафедрой организации перевозок и управление на транспорте Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан, salomzoda1975@gmail.com.

Бобоев Музаффар Мухиддинович – ассистент кафедры автомобиля и управления на транспорте Политехнического института Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими, Худжанд, Республика Таджикистан, muzaffar-bm@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.12.2020, одобрена после рецензирования 21.10.2021, принята к публикации 01.11.2021.



Оптимизация скорости движения поездов



Дмитрий Юрьевич Левин
АО «НИИАС», Москва, Россия.
✉ levindu@yandex.ru.

Дмитрий ЛЕВИН

АННОТАЦИЯ

Рассматривается значение скорости движения поездов в деятельности железнодорожного транспорта, представлена широкая панорама влияния, с одной стороны, скорости на перевозочный процесс грузов и пассажиров, с другой стороны, – подвижного состава, инфраструктуры и организации перевозок на скорость.

Целью статьи является расширение представления о скорости на железнодорожном транспорте с помощью анализа отечественной и зарубежной истории развития и полученных результатов исследования скорости движения поездов.

Несмотря на, казалось бы, всю определённую скорость движения, история её развития свидетельствует о

большом диапазоне мнений и неочевидности оценок. Исторический обзор содержит мнения о развитии проблемы и взаимодействии скорости с другими показателями.

Взаимодействие скорости движения поездов со всеми составляющими перевозочного процесса описывается различными зависимостями. Поэтому экономическая эффективность от повышения скорости движения поездов может быть получена только при системном подходе.

Анализ современных исследований показывает возможности повышения скорости. Результаты исследований автора раскрывают глубинные возможности и целесообразность повышения скорости движения поездов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, скорость, взаимодействие скорости с другими показателями, нормирование, вес поездов, системный подход, интенсивность и плотность потока поездов, распределение скоростей.

Для цитирования: Левин Д. Ю. Оптимизация скорости движения поездов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 73–90.
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-6-10>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Скорость с незапамятных времён волновала человечество. Это направление научно-технического прогресса позволило освоить поверхность планеты, околоземное пространство, а в будущем поможет перемещаться за пределами Солнечной системы. И, тем не менее, пока не поставлена точка в изучении вопросов скорости движения на железнодорожном транспорте. Известны факторы, влияющие на скорость движения поездов, и факторы влияния скорости на вес поездов, расход топлива и пропускную способность. Но нет пока целостной картины скорости перевозочного процесса.

Скорость движения поездов связывают со сроками доставки грузов [1]. Но в перевозочном процессе перемещение грузов в поездах составляет менее трети времени доставки. Остальное время доставки грузы находятся на станциях для выполнения грузовых, технических и технологических операций. А нахождение грузов на станциях и грузовых фронтах не связывают со скоростью и называют «временем нахождения» и «выполнением операций». В результате на части пути перевозки грузов идёт борьба за ускорение, измеряемое в минутах, а на других участках этого пути – простои, измеряемые в часах.

Скорость движения поездов – это максимально допустимая, расчётная, ходовая, техническая, участковая, маршрутная, а на станциях называется: нахождение и простой. Для движения необходимы инфраструктура, подвижной состав, топливо, а для простоя на станциях ничего не нужно кроме ... «чужих» вагонов.

Скорость, как и все элементы технологии перевозочного процесса, имеет две стороны медали. Одна – это нормативно-технологические документы, регламентирующие скорость, другая – их выполнение. В настоящее время значительно больше внимания уделяется разработке нормативно-технологических документов, чем их исполнению. Как бы подразумевается, что главное – разработать график движения, план формирования поездов и т.д., и они автоматически реализуют свои возможности. Но уровень выполнения графика движения, особенно грузовых поездов, далёк от 100 %. Или, достаточно абсурдно может выглядеть автоматизированная система контроля вы-

полнения плана формирования поездов, которая полностью игнорирует оперативную адаптацию организации вагонопотоков к реальным ситуациям – учёт колебаний: размеров струй вагонопотоков, времени накопления составов, загрузки станций, возможности своевременного обеспечения составов локомотивами и т.д.

Поэтому рассмотрим проблему скорости и со стороны нормирования, и с точки зрения возможностей реализации.

Из всего многообразия показателей эксплуатационной работы наиболее системное влияние на организацию перевозочного процесса имеют вес и скорость движения поездов. Нельзя рассматривать скорость движения в отрыве от веса поездов. А оба эти показателя являются производными от возможностей подвижного состава и инфраструктуры. Постоянно происходят большие изменения в техническом оснащении железнодорожного транспорта, которые можно использовать либо на повышение веса, либо на увеличение скорости движения поездов. Вес и скорость – не константы, а важнейшие параметры регулирования режима работы сети, которые определяют качество транспортной продукции [2].

Увеличение скоростей движения грузовых и пассажирских поездов является важной возможностью наращивания пропускной способности железнодорожных линий, ускорения доставки грузов, сокращения времени поездки пассажиров, повышения эффективности использования локомотивных бригад и локомотивов. При этом системный подход к условиям и организации перевозочного процесса и его показателям требует учитывать, что, во-первых, в условиях ограниченных технических и технологических возможностей сети железных дорог просто повышение устанавливаемых скоростей движения не всегда эффективно. Во-вторых, между скоростью движения и весом поездов обратно пропорциональная зависимость, следовательно, увеличение скорости при неизменном техническом оснащении вызывает снижение веса поездов и увеличение числа поездов на участке. В-третьих, увеличение скоростей движения поездов связано с увеличением расхода топливно-энергетических ресурсов. В-четвёртых, скорость влияет на эффективность использования локомотивных бригад и локо-

мотивов, а также ускорение доставки грузов. В-пятых, повышение скорости вызывает дополнительные расходы на техническое обслуживание объектов инфраструктуры. В-шестых, имеется доля вагонов и грузов, требующих ограничения скорости движения. В-седьмых, более быстрые темпы развития пассажирского комплекса сдерживают и ограничивают скорости грузовых перевозок, составляющих основной доход ОАО «РЖД». В-восьмых, на скорость движения влияют: дефицит пропускной и перерабатывающей способности, временно отставленные грузовые поезда, содержание избытка рабочего парка вагонов и перенасыщение участков поездами. Поэтому изолированное, отдельное от других показателей рассмотрение повышения скоростей движения поездов свидетельствует о несистемном решении вопроса.

Протяжённость главных путей, на которых разрешена скорость движения грузовых поездов 90 км/ч (в соответствии с ПТЭ), составляет порядка 10 % эксплуатационной длины сети железных дорог. Ещё несколько лет назад участков с такой максимальной допустимой скоростью вообще не было.

Повышение только установленной скорости движения грузовых поездов без проведения мероприятий, направленных на наращивание технической, участковой, маршрутной скоростей и скорости доставки грузов, малоэффективно. Реализация же мер по увеличению установленной скорости движения на участках сети, например, с 80 до 90 км/ч, при усилении железнодорожной инфраструктуры, но без учёта тяговых свойств локомотива может и не привести к повышению технической и участковой скоростей движения [3].

Рассматривая направления повышения установленной скорости движения поездов, необходимо системно, в комплексе формировать мероприятия по усилению путевого хозяйства, энергоснабжения с проведением тяговых расчётов для определения возможностей реализации локомотивами установленных скоростей с учётом прохождения расчётных подъёмов с расчётной скоростью при отсутствии перегрева тягового оборудования. Системный подход требует учитывать и возможности повышения участковой и маршрутной скоростей за счёт сокращения простоев на станциях.



Рис. 1. Паровоз типа 1–3–1 серии С первого выпуска.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Отечественный опыт повышения скорости движения

В истории развития железных дорог России прослеживается последовательное увеличение скоростей. В начале XX века было создано несколько паровозов, которые обслуживали скорые и курьерские поезда. Ещё в 1901 году на железной дороге Санкт-Петербург–Москва курьерские поезда обращались с максимальной скоростью 110 км/ч. В 1910 г. на Сормовском заводе был построен скоростной паровоз, получивший индекс С, признанный одним из лучших европейских локомотивов своего времени (рис. 1).

В 1913 году в опытных поездках с паровозом серии С достигалась скорость 125 км/ч, а в 1915 г. с паровозом серии Л – максимальная скорость 117 км/ч.

Профессор Н. Л. Щукин с начала XX века вынашивал идею о введении в эксплуатацию между Санкт-Петербургом и Москвой скоростных поездов, однако начавшаяся война не позволила реализовать эти планы.

В 1938 году на магистрали Москва–Ленинград впервые в СССР была достигнута скорость 177 км/ч при испытании паровоза, изготовленного Коломенским заводом с осевой формулой 2–3–2 (число осей – передние бегунковые, ведущие, задние поддерживающие) и нагрузкой на ось 20,5 т. Поездки (опытные и эксплуатационные) производились на рельсах массой 43,6 кг/м.

В СССР в послевоенный период осуществлялся беспрецедентный Генеральный план технического перевооружения железнодорожной отрасли на основе электрификации. В 1960-х годах между Москвой и Ленинградом был проведён комплекс опытных поездок, в которых максимальная скорость достигала 220 км/ч.

В 1972 году в СССР были проведены опытные поездки пассажирского вагона с турбореактивным двигателем со скоростью 240 км/ч.



Таблица 1

Основные показатели ряда скоростных железных дорог в период около 1965 года

| Страна | Участок (линия) | Протяжённость участка, км | Наименование экспресса | Максимальная скорость, км/ч | Маршрутная скорость, км/ч |
|----------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| СССР | Ленинград–Москва | 650 | «Аврора» | 160 | 130,4 |
| Великобритания | Лондон–Лестер | 169,5 | «Мидленд Пульман» | 140 | 112 |
| Италия | Рим–Неаполь | 210 | «Стрела Везувия» | 140–160 | 120 |
| США | Лос-Анджелес–Чикаго | | «Супер-Чиф-Эль-Капитэн» | 160 | 132 |
| Франция | Париж–Марсель–Ницца | 314 | «Мистраль» | 160 | 131 |
| ФРГ–Швейцария | Дуйсбург–Женева | 570 | «Рейнгольд» | 160 | 107 |

Данные по различным источникам значительно отличаются, в таблице приводятся некоторые из них в порядке информации, поскольку исследование данного вопроса находится за рамками статьи.

Первые проекты скоростной магистрали Москва–Ленинград разрабатывались ещё в 1930-х годах (К. Н. Кашкин, Г. Д. Дубилер, И. В. Романов). Самым известным скоростным поездом стала «Красная стрела». В первый рейс экспресс отправился из Ленинграда 9 июня 1931 г. Однако реально работы по организации железнодорожного движения с повышенными скоростями начались лишь в конце 1950-х гг.

Одним из первых документов, определивших программу повышения скоростей движения поездов на Октябрьской железной дороге, стал приказ Министерства путей сообщения от 29 мая 1957 г. «О подготовке линии Москва–Ленинград к движению пассажирских поездов с повышенными скоростями». В том же году на Октябрьскую железную дорогу поступили первые тепловозы ТЭ7, сыгравшие заметную роль в развитии скоростного движения. Максимальная скорость пассажирских поездов достигла 140 км/ч. Вся поездка от Москвы до Ленинграда длилась 5 ч 54 мин.

После укладки бесстыкового пути из рельсов Р65, замены стрелочных переводов, завершения электрификации и с использованием электровозов серии ЧС2 в 1964 г. на линии Москва–Ленинград ввели в обращение дневной экспресс «Аврора» с маршрутной скоростью 130,4 км/ч.

Результаты, достигнутые в скоростном движении на линии Ленинград–Москва к середине 1960-х годов, были сопоставимы с показателями скоростных железных дорог Японии, Франции, Италии, США и других лидирующих в этой области стран, что видно из табл. 1.

Первый в СССР скоростной поезд ЭР 200 («Электропоезд Рижский»), имевший максимальную скорость 200 км/ч, разработан и изготовлен в 1968–1974 гг. С 1984 г. электропоезд ЭР 200 эксплуатировался на линии Москва–Ленинград. Время в пути поезда между конечными пунктами составляло 4 ч 30 мин, маршрутная скорость – 144 км/ч. Одновременно с ЭР 200 велась разработка ещё одного скоростного поезда, получившего наименование «Русская тройка», рассчитанного на скорость до 200 км/ч. Поезд должен был представлять собой состав постоянного формирования из вагонов РТ 200 Калининского (с 1990 г. Тверского) вагоностроительного завода и электровоза ЧС 200 (производства ЧССР). Было изготовлено восемь опытных вагонов, которые показали на испытаниях хорошие результаты, однако в коммерческой эксплуатации поезд «Русская тройка» не использовался.

С 1994 года в России осуществлялась отраслевая программа развития скоростного движения, в соответствии с которой были реализованы проекты создания специального подвижного состава на максимальные скорости движения до 200 км/ч скоростных пассажирских электровозов ЭП 100 постоянного тока и ЭП 200 переменного тока, пассажирских вагонов разного класса для скоростного движения.

В 2009 году на линии Москва–Санкт-Петербург начали эксплуатироваться скоростные поезда «Сапсан», произведённые в сотрудничестве с компанией Siemens. Максимальная скорость этих поездов – 250 км/ч. Расстояние 650 км преодолевается за 3 ч 45 мин. За первый же год было перевезено 2 млн пассажиров. Летом 2010 г. организовано движение поездов «Сапсан» на направлении Москва–Нижний Новгород.

В декабре 2010 г. началось регулярное движение скоростных поездов «Аллегро», производства компании Alstom, между Санкт-

Петербургом и Хельсинки. Максимальная скорость движения нового электропоезда по территории России – 200 км/ч, Финляндии – 220 км/ч. Время в пути на этом международном маршруте сократилось с 6 ч 18 мин до 3 ч 30 мин.

Одним из стратегических направлений инновационного развития ОАО «РЖД» является расширение высокоскоростного движения пассажирских поездов. О значении, которое придаётся высокоскоростному движению пассажирских поездов, свидетельствует подписанный 16 марта 2010 г. Президентом Российской Федерации Указ «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации».

Вопросы выбора оптимальной скорости

В самом начале XX века инженер Б. Д. Воскресенский в труде «Теория работы железнодорожных поездов» в качестве основного критерия для решения вопроса о наивыгоднейшем весе и скорости для грузовых поездов предложил определять величину $\max QV_x$ на эквивалентном подъёме и пришёл к выводу, что на участках с лёгким профилем пути выгоднее водить тяжёлые составы с меньшими скоростями, а на участках с трудным профилем целесообразно водить поезда меньшего веса, но с более высокими скоростями.

Профессор А. Л. Васютинский, исходя из расчётов себестоимости перевозок, связанной с работой подвижного состава, пришёл к противоположному выводу, что по мере увеличения эквивалентного подъёма целесообразнее вес состава повышать, а скорость снижать.

Инженер В. Н. Щегловитов [4] справедливо поставил вопрос о нахождении не $\max QV_x$, а величины $\max QV_{уч}$, т.к. провозная способность участка определяется участковой (в то время коммерческой – авт.) скоростью, а не ходовой, причём с увеличением числа поездов на однопутном участке участковая скорость снижается. Отсюда делался вывод, что для однопутных участков наибольший состав является наивыгоднейшим.

В 1920-х годах экономическую оценку скорости предложили определять влиянием мощности локомотивов на себестоимость перевозок:

$$\mathcal{E} = A + \frac{B}{Q},$$

где \mathcal{E} – полные эксплуатационные расходы;

A – расходы, не зависящие от веса состава;

B – расходы, зависящие от веса состава;

Q – вес состава.

Профессор И. И. Васильев в работе [5] пришёл к выводу, что для получения минимального расхода топлива на 1 т•км перевозки и достижения максимальной пропускной способности участка вес состава и скорость должны соответствовать при паровой тяге точке пересечения кривых, соответствующих ограничению силы тяги по сцеплению и котловой силе тяги.

Профессора А. М. Бабицкий и В. Ф. Егорченко в книге [6, с. 247] пишут: «Для грузовых поездов за расчётную скорость на подъёме обычно принимается та наибольшая скорость, при которой полностью используется сила тяги локомотива по сцеплению и по генератору или машине, иначе говоря, скорость, соответствующая на диаграмме $F_k = f(V)$ точке пересечения линии силы тяги по сцеплению с линией силы тяги по генератору или по машине. Эта скорость иногда называется скоростью порога или скоростью выхода на автоматическую характеристику, так как на диаграмме $F_k = f(V, z)$ она соответствует точке перелома кривой силы тяги». Таким образом, исходным критерием при установлении веса состава авторы считают наилучшее использование силы тяги локомотива, определяющим также минимальное значение себестоимости перевозок.

Профессор В. Н. Орлов [7] сделал вывод, что наивыгоднейшая ходовая скорость при неизменном весе поезда имеет минимум себестоимости перевозок, а на руководящем подъёме – наименьшую себестоимость перевозок при заданных размерах грузооборота.

Профессор А. И. Ионнисян [8] утверждал, что с повышением максимально допускаемой скорости для мощных локомотивов необходимо повысить также расчётные скорости на руководящем подъёме. Скорость на руководящем подъёме должна быть установлена по условиям достижения минимальной себестоимости перевозок.

Профессор А. Е. Гибшман [9] предложил метод непосредственного расчёта сравниваемых типов паровозов на основе предварительного построения специальной сетки и оконтуренных линий зависимости издержек от веса и скорости движения поезда при различных размерах грузооборота.



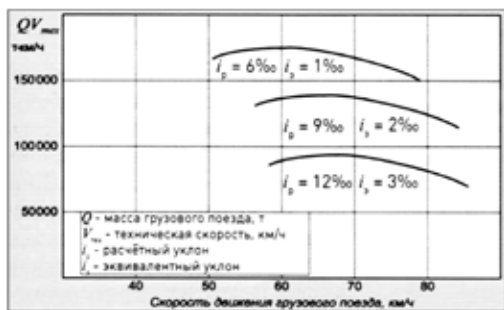


Рис. 2. Зависимость производительности локомотива от технической скорости.

В Правилах тяговых расчётов для поездной работы, изданных в 1956 г. и 1985 г. [10], предлагается вес и скорость движения поезда определять исходя из условий полного использования мощности локомотивов и кинетической энергии поезда, т. е. исходя из принципа реализации наибольшего возможного веса состава по мощности локомотива.

Ещё в середине XX века академик Т. С. Хачатуров исследовал проблему зависимости производительности локомотивов от скорости движения грузовых поездов и установил эту зависимость при различных величинах руководящего и эквивалентного уклонов (рис. 2). Для заданных руководящего и эквивалентного уклонов принимался начальный вес грузового поезда, для которого рассчитывался путь, проходимый за 1 час. Затем вес поезда пошагово увеличивался. Вначале поезд проходил расчётное расстояние с максимально реализуемой скоростью. При увеличении веса поезда его скорость снижалась, а производительность локомотива росла за счёт повышения веса поезда. При дальнейшем повышении веса поезда снижение скорости уже не компенсировалось увеличенным весом поезда, и производительность локомотива начала снижаться.

Профессор Б. Э. Пейсахзон [11] исследовал и разработал методику выбора оптимальных значений веса и скорости движения поездов для различных видов тяги, которая позволяет производить выбор новых типов и размещение существующих локомотивов на основе эксплуатационных требований и технико-экономических расчётов.

Зарубежный опыт повышения скорости движения

История развития железнодорожного транспорта насчитывает немало достижений в области повышения скорости движения, часто они являлись своего рода техническими сенсациями. Ещё в 1847 г. в Англии на одном из участков Большой Западной железной дороги протяжённостью 92 км пассажирские поезда достигали скорости 93 км/ч. К концу XIX столетия в Великобритании, Франции, Германии, США пассажирские поезда развивали скорость 70–80 км/ч. В 1890 г. паровоз «Crampton» во Франции с поездом массой 157 т развил скорость 144 км/ч. Рубеж скорости 200 км/ч впервые преодолел немецкий электропоезд. В 1903 г. на участке Мариенфельде–Цёссен во время испытаний была достигнута скорость 210 км/ч.

В 1955 г. во Франции впервые превышен рубеж 300 км/ч и установлен рекорд скорости — 331 км/ч. Этот рекорд был улучшен 28 февраля 1981 г. — поезд TGV достиг скорости 380 км/ч.

Продолжающиеся в этой области работы показывают, что традиционная транспортная система колесо–рельс не исчерпала своих возможностей. В 1988 г. в Германии при испытаниях экспериментального поезда ICE реализована скорость 406,9 км/ч. Но и этот рубеж вскоре был превзойдён: в 1989 г. поезд TGV во Франции достиг скорости 412 км/ч, затем 482,4 км/ч и, наконец, в мае 1990 г. был установлен невероятный рекорд скорости — 515,3 км/ч.

Впервые в мире идея высокоскоростного железнодорожного движения была реализована в Японии (рис. 3), между городами Токио и Осака, где в 1964 г. была сдана в эксплуатацию высокоскоростная магистраль Токайдо протяжённостью 516 км. Максимальная скорость движения на новой линии составляла 210 км/ч, а поездка из Токио в Осака занимала 3 ч 10 мин.

Благодаря высокой скорости и комфорту высокоскоростные поезда завоевали широкое признание у населения. Уже через пять лет перевозки пассажиров на этой линии возросли более чем в два раза и достигли 70 млн чел. в год. Столь значительные объёмы работы обеспечили прочную основу экономической эффективности высокоскоростной магистрали и позволили японским железным дорогам планировать дальнейшее строительство таких линий.

В 1970 г. в Японии принят закон о создании общенациональной сети высокоскоростных железнодорожных линий, которая получила название Синкансен. Это дало новый импульс развитию высокоскоростного движения. В 1975 г. вступила в строй высокоскоростная линия Санья. Перешагнув через пролив, эта линия достигла города Фукуока, соединив два острова – Кюсю и Хонсю.

1982 г. ознаменовался открытием ещё двух новых высокоскоростных магистралей (ВСМ): линии Тохоку, расположенной к северу от Токио и связывающей города Омия и Мариока, и линии Дзеецу, пересекающей остров Хонсю от побережья Японского моря до побережья Тихого океана на маршруте Омия–Ниигата. В начале 2000-х годов протяжённость высокоскоростной железнодорожной сети в Японии, включающей в себя шесть магистралей, превысила 2100 км, а максимальная скорость обращающихся по ней поездов составляет 240–260 км/ч (рис. 4).

Магистрали Синкансен предназначены только для пассажирского движения. В отличие от обычных железных дорог, которые имеют узкую колею, ширина колеи высокоскоростных линий соответствует европейскому стандарту и составляет 1435 мм. В результате поезда типа Синкансен вынуждены обращаться в замкнутой системе. Высокоскоростные магистрали заходят непосредственно в центры городов и населённых пунктов, пересекая их на эстакадах высотой 25–30 м.

При создании сети Синкансен японскими специалистами решён ряд сложнейших инженерных задач, связанных с выбором путей, структурой, созданием нового подвижного состава, искусственных сооружений и других технических средств.

Особое место в этих разработках занимают устройства обеспечения безопасности движения. Принцип их работы заключается в том, что при возникновении любой неисправности или нарушении режима работы, создающих угрозу безопасности, поезд немедленно останавливается. Для наземных видов транспорта это означает устранение опасности. Практика показала высокую эффективность применяемой системы безопасности. За всё время эксплуатации линий Синкансен не было ни одной аварии или крушения, не погиб и не был ранен ни один



Рис. 3. Первый высокоскоростной электропоезд (Япония).

пассажира. А перевезено к концу 1990-х годов около 3 млрд чел.

Ежесуточно по магистрали Синкансен курсирует 427 скоростных экспрессов, которые перевозят более 440 тыс. чел.

Ведутся большие работы по созданию поездов нового поколения с целью достижения на уже имеющейся сети ВСМ Японии скорости 300–350 км/ч. Поскольку постоянные устройства этой сети были рассчитаны на скорость до 250 км/ч, потребовалось существенно снизить нагрузку на ось. Это было достигнуто – в опытном поезде нагрузка на ось составляет меньше 8 т.

Идеологом высокоскоростных железнодорожных систем в Европе является Франция. После двух лет теоретических разработок в 1976 г. общество железных дорог (SNCF): приступило к строительству высокоскоростной магистрали Париж–Лион, а в сентябре 1981 г. на линии был дан зелёный свет высокоскоростному поезду TGV (рис. 5). Проектирование системы TGV велось таким образом, чтобы поезда могли курсировать по новой линии со скоростью 270 км/ч, и переходить на обычную железнодорожную сеть. Благодаря этому была обеспечена ускоренная железнодорожная связь Парижа с юго-восточными районами Франции. В настоящее время поезда TGV юго-восточного направления обслуживают более 50 населённых пунктов, в которых проживает 56 % населения страны. Протяжённость сети TGV–Юго-восток составляет 2487 км, из которых 417 км приходится на новую линию.

Резко возросла коммерческая скорость движения. В сообщении Париж–Лион она составляла 213 км/ч, а время в пути между этими городами сократилось до 2 ч.

Базируясь на первых успехах, французское общество железных дорог предложило, а пре-





Рис. 4. Японский высокоскоростной электропоезд серии 300.



Рис. 5. Французский высокоскоростной двухэтажный электропоезд TGV Duplex.

зидент республики и правительство приняли решение о строительстве новой высокоскоростной линии TGV–Атлантик, пуск в эксплуатацию которой состоялся в сентябре 1989 г. Общая длина магистрали составляет 285 км.

Так же, как и линия TGV–Юго-восток, новая высокоскоростная магистраль предназначена исключительно для пассажирских перевозок. Для Атлантической линии создано новое поколение высокоскоростных поездов TGV–Атлантик, максимальная скорость которых при коммерческой эксплуатации на вновь построенных участках составляет 300 км/ч, а на обычных железнодорожных линиях – 220 км/ч.

Затем были введены в эксплуатацию ВСМ «Север» – направление на Бельгию и к тоннелю под Ла-Маншем (332 км); обходная ВСМ вокруг Парижа, соединившая в единую сеть высокоскоростные линии Франции и ряда европейских стран (102 км). Общая протяжённость ВСМ Франции к 2014 г. составляла почти 1500 км, и строительство ещё нескольких линий продолжилось.

Французская концепция высокоскоростного подвижного состава предусматривает создание поездов постоянного формирования с локомотивной тягой. Два электровоза помещаются по концам состава, а между ними располагаются пассажирские вагоны. Особенностью французского поезда TGV является использование сочленённых вагонов на промежуточных тележках.

В Германии первая линия ВСМ появилась в 1991 г., сегодня протяжённость таких линий составляет 800 км (рис. 6). В Испании и Италии высокоскоростные магистрали длиной соответственно 471 и 236 км были введены в 1992 г.

В 1992 г. в Швеции начали курсировать поезда, состоящие из вагонов с принудительным наклоном кузовов. Такие поезда развивают скорость 220 км/ч. В разных странах уже создано до 20 типов таких вагонов.

В Великобритании усовершенствуются три основных маршрута: Лондон–Глазго,

Лондон–Ньюкастл–Эдинбург и Лондон–Бристоль–Кардифф для реализации скоростей 225 км/ч.

Вслед за Европой и Японией высокоскоростное движение получает развитие и в США, где долгое время главную роль играли автомобильный и воздушный виды транспорта. В США имеется семь проектов создания систем высокоскоростного железнодорожного транспорта. Одни из них находятся в стадии рассмотрения, по другим проведены научные исследования и предпроектные разработки. В настоящее время наивысшая скорость (240 км/ч) для пассажирских поездов реализуется на одном из участков в так называемом Северо-Восточном коридоре между Вашингтоном и Нью-Йорком. На новых магистралях скорости движения будут достигать 270–300 км/ч.

Работы по созданию сверхскоростных железнодорожных магистралей ведутся практически на всех континентах. О намерениях построить высокоскоростную линию между городами Сидней и Мельбурн объявила Австралия. Высокоскоростные поезда для неё будут поставляться ведущими фирмами Франции и ФРГ, которые преуспели в создании поездов типов TGV и ICE. Германские предприятия должны поставить Австралии сверхскоростные локомотивы, а французские – вагоны. На новой 870-километровой линии будут курсировать 30 пар поездов со средней скоростью 292 км/ч и максимальной 350 км/ч.

Данный обзор в контексте статьи не охватывает развитие ВСМ в последние годы с точки зрения совершенствования инфраструктуры, строительства новых высокоскоростных линий, создания подвижного состава, чему, в том числе и применительно к ускоренному развитию ВСМ в КНР, посвящено большое число исследований, ставя задачу показать эволюцию скорости поездов. При этом нельзя не отметить ряд связанных аспектов.

На высокоскоростных линиях конструкция пути, устройства СЦБ и связи в основном сохраняют традиционные принципы.

Однако они становятся качественно новыми по наукоёмкости, надёжности и способам содержания. Их необходимыми элементами являются микропроцессоры и ЭВМ, диагностические и информационные датчики, приборы тонкой чувствительности для определения землетрясений, снегопадов и других ситуаций. Всё это в двойном, а иногда в тройном резервировании обеспечивает 100 % безопасность движения.

Основными тенденциями в создании новых типов высокоскоростных электропоездов являются максимальное облегчение конструкции вагонов, уменьшение энергопотребления благодаря высоким аэродинамическим показателям, применение ЭВМ и микропроцессорных устройств, а также новых, более экономичных и надёжных систем, электрооборудования для тяги.

В настоящее время система ВСМ технически, технологически и экономически апробирована. Высокоскоростные магистрали уже построены, строятся или проектируются во многих странах мира на протяжении почти 50 лет. Высокая эффективность ВСМ доказана, и поэтому, сегодня любая страна, если для этого имеются необходимые экономические условия, может проектировать и строить ВСМ, используя известные технические и технологические решения.

Современные исследования

Повышение и оптимизация скорости движения поездов – приоритетные задачи ОАО «РЖД». Решением этих задач занимается практически весь научный потенциал отрасли.

Канд. экон. наук А. В. Кудрявцева [12] исследовала долгосрочную динамику весов и скоростей грузовых поездов с точки зрения инновационного развития железнодорожного транспорта и обобщила получаемые экономические эффекты от повышения этих показателей.

Специалисты АО «ИЭРТ» [3] при анализе повышения скорости грузовых поездов на участке Барабинск–Татарская–Московка с 80 до 90 км/ч сделали вывод, что показатели экономической эффективности зависят от наличия (или отсутствия) резервов пропуск-



Рис. 6. Немецкий высокоскоростной электропоезд ICE 3.

ной способности инфраструктуры, возможности привлечения дополнительных объёмов грузовых перевозок или оптимизации перевозочного процесса за счёт переключения (возврата) грузопотоков на кратчайшие маршруты, наличия дополнительной грузовой базы, подтверждённой соответствующим прогнозом, размеров движения по рассматриваемому участку, стоимости мероприятий, направленных на повышение скорости движения.

Специалисты АО «ВНИИЖТ» [13] исследовали возможности упорядочить технологию движения грузовых поездов за счёт актуализации графика движения, разрабатываемого с помощью аппаратно-программного комплекса (АПК) ЭЛЬБРУС, что позволило увеличить участковую и маршрутную скорости на направлении Исылькуль–Челябинск Южно-Уральской дороги.

Специалисты ДВГУПС [14] с помощью системы сетевого планирования и управления (СПУ) и программного комплекса ЭРА исследовали зависимость технической и участковой скоростей от установленной допускаемой скорости движения поездов. Расчёты показали экономическую эффективность повышения средних скоростей движения за счёт планирования и управления увеличением допускаемых скоростей движения поездов на полигонах сети.

Специалисты СамГУПС [15] на направлении Кузбасс–Челябинск–Сызрань–им. М. Горького–Тихорецкая–порты Азово-Черноморского бассейна проанализировали взаимодействия скорости движения поездов с другими объёмными и экономическими показателями. Получена зависимость между скоростью движения поездов и пропускной способностью участка. Но характер кривой свидетельствует о неизменной длине блок-участков, в то время как с повышением скорости движения поездов длина блок-участков должна увеличиваться, и при высокоскорост-



ном движении это приводит даже к уменьшению пропускной способности.

Специалисты РГУПС [16] исследовали влияние повышения скоростей движения грузовых поездов на оценку доходов и расходов. Проанализированы факторы, влияющие на скорость. Рассмотрена целесообразность разделения грузового и пассажирского движения. Для Северо-Кавказской дороги установлена зависимость между рабочим парком вагонов, участковой скоростью и бюджетными показателями.

В последние десятилетия разрабатываются и реализуются руководящие указания ОАО «РЖД», программы, методические рекомендации и проекты, направленные на повышение скорости движения поездов.

АНАЛИЗ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

При максимальных размерах движения и минимальных межпоездных интервалах поток поездов становится неустойчивым, а процесс движения нестационарным. Различная квалификация машинистов, современная конструкция скоростемеров и другие факторы не позволяют реализовать максимально допустимую скорость.

Расшифровка скоростемерных лент показала, что машинисты грузовых поездов почти всегда следуют со скоростью меньше расчётной или установленной предупреждением об ограничении. При следовании поездов под зелёный на зелёный огонь путевого светофора, т.е. когда расстояние между поездами более трёх блок-участков, расчётная норма ходовой скорости в среднем не выполняется на 20 %, а графиковая – на 8 %. Когда расстояние между поездами менее трёх и более двух блок-участков и часть пути они следуют на жёлтый огонь, средняя скорость соответственно ниже нормы на 46 и 38 %, после проследования же путевого светофора с жёлтым огнём – на 63 %. Фактическая скорость движения поездов отличается от расчётной в широком диапазоне от 0,2 до 1,2. Большой разброс скоростей объясняется, прежде всего, разной квалификацией машинистов, неодинаково реагирующих на показания светофоров, зачастую осуществляя преждевременное торможение.

Увеличение средних скоростей движения поездов обычно вызывает повышение удельного расхода электроэнергии или топлива, так как при этом возрастают основное со-

противление движению и потери энергии в тормозах. Увеличение средних скоростей движения обеспечивает наибольший экономический эффект при рациональном режиме вождения поездов, который при строгом соблюдении графика движения вызывает наименьший удельный расход электроэнергии или топлива. Сложность разработки и практического использования рациональных режимов вождения поездов заключается в том, что они различны для разных эксплуатационных условий, при электрической тяге подвержено изменению напряжение в контактной сети, в зависимости от технического состояния отличаются характеристики электрических машин на локомотивах. Составленные для некоторых средних эксплуатационных условий карты режимов вождения поездов на одних и тех же участках у различных машинистов имеют отклонения как в большую, так и в меньшую сторону от установленной нормы удельного расхода электроэнергии, топлива. Стремление машинистов добиться экономии расхода электроэнергии или топлива приводит к снижению скорости движения грузовых поездов.

Любое снижение скорости движения поездов по сравнению с расчётной скоростью для данного участка, а тем более перерыв в движении приводят к потерям в использовании пропускной способности и соответственно к экономическим потерям. Задержки поездов на перегонах вызываются: несинхронностью движения поездов, несвоевременным открытием сигналов на станциях, возникновением неисправностей подвижного состава и технических устройств, перенасыщением участков поездами, наличием предупреждений об ограничении скорости движения и пропуском опаздывающих пассажирских поездов.

При несинхронности движения поезда следуют вместо зелёного на жёлтый, а часто и на красный огонь светофора. Так, если пачка поездов следует с шестиминутными межпоездными интервалами и один из локомотивов снизит скорость движения против средней графиковой всего лишь на 5 км/ч, идущий за ним поезд через 1,5 мин подойдёт к светофору с жёлтым огнём. Несинхронность следования объясняется тем, что машинисты пользуются расписанием движения поездов, в котором указано только время хода по перегонам. Скорость следования на

различных элементах профиля пути определяют экспертно, выбор режима движения во многом зависит от квалификации машинистов.

По некоторым оценкам, около 1 млн поездо-часов в год составляют задержки поездов из-за несвоевременного приёма их техническими станциями, также велики задержки перед стыковыми пунктами из-за несвоевременного приёма поездов соседними дорогами и отделениями.

На задержки поездов при возникновении неисправностей вагонов, локомотивов, пути, устройств СЦБ и связи, контактной сети и др. влияют средства связи по движению поездов, число главных путей, вид тяги, межпоездной интервал и количество пассажирских поездов. Отказы в работе технических устройств сокращают наличную пропускную способность участков до 15 %.

Увеличение плотности поездопотока ведёт к росту числа поездов, следующих на жёлтый и красный огни светофоров, а это вызывает уменьшение ходовой скорости и увеличение времени задержки поездов на перегонах.

Анализ записей скоростемерных лент позволяет установить режим движения поездов на участке при различной плотности и интенсивности поездопотока, доле различных показаний светофоров и АЛСН и скорости движения на них, реализуемые техническую и участковую скорости грузовых поездов. Показания скоростемерных лент могут использоваться как самостоятельно, так и в качестве исходной информации для моделирования движения поездов на участке. В последнем случае, в отличие от результатов тяговых расчётов, учитывается человеческий фактор (влияние машиниста на режим ведения поезда).

Для сопоставления скорости движения поездов, полученной с помощью тяговых расчётов и скоростемерных лент, целесообразно использовать их отношение при следовании на различные показания путевых светофоров или АЛСН.

$\frac{v_z}{v_p}, \frac{v_{ж}}{v_p}, \frac{v_{сж}}{v_p}$ – отношение фактической

и расчётной скорости движения поездов соответственно на зелёный, жёлтый и после проследования жёлтого огня путевого светофора (рис. 7, 8).

На разных участках разные машинисты по-разному реализуют допускаемые скорости движения поездов. Но при отличии конкретных значений скорости движения поездов, их распределения и соотношения имеют общий вид (рис. 7, 8). Общей закономерностью явилось следование на зелёное показание светофора на одной половине блок-участков со скоростью на 20–25 % ниже расчётной и на другой – почти в два раза меньше, чем получено тяговыми расчётами. На второй половине блок-участков такое снижение скорости связано с наличием ограничений скорости и разгоном после их проследования, которое осуществлялось медленнее по сравнению с расчётным режимом. Снижение значений соотношения $\frac{v_{ж}}{v_p}$ объясняется установленным

на железных дорогах ограничением скорости при следовании на светофор с жёлтым показанием и преждевременным торможением малой эффективности. Причём в 75 % случаев при следовании поездов на жёлтый огонь показание светофоров менялось на зелёное показание и зарегистрированных торможений могло вообще не быть.

Фактические скорости движения поездов рассматривались по отношению к скоростям, полученным тяговыми расчётами. Но в нормативных графиках движения используются скорости ниже расчётных. На рассмотренных электрифицированных участках в графике движения ходовая скорость грузовых поездов $v_{гр} = 57,7$ км/ч меньше расчётной на 8,7 км/ч. Поэтому отношение скоростей $v_z, v_{ж}$ и $v_{кж}$ к графической норме ходовой скорости больше в $66,4:57,7 = 1,15$ раза (табл. 2). При следовании поездов на зелёное показание светофоров ходовая скорость ниже расчётной на 20 %, а графической – на 8 %. На жёлтое показание светофоров поезда следуют с ходовой скоростью соответственно ниже на 46 и 38 %. После проследования же путевого светофора с жёлтым огнём – ниже на 63 %.

Результаты, полученные на участках с тепловозной тягой, приведены в табл. 3. Различие отношений скоростей в нечётном (гружёном) и чётном (порожном) направлениях объясняется почти в два раза меньшим весом порожних поездов, медленным разгоном гружёных поездов после проследования участков с ограничениями скорости и более высокими скоростями движения



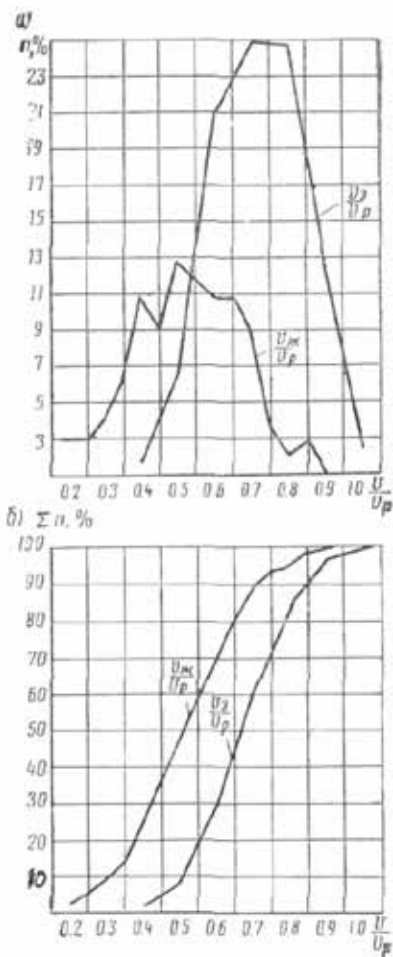


Рис. 7. Дифференциальные (а) и интегральные (б) кривые распределения скоростей при движении поездов на различные показания светофора на электрифицированном участке.

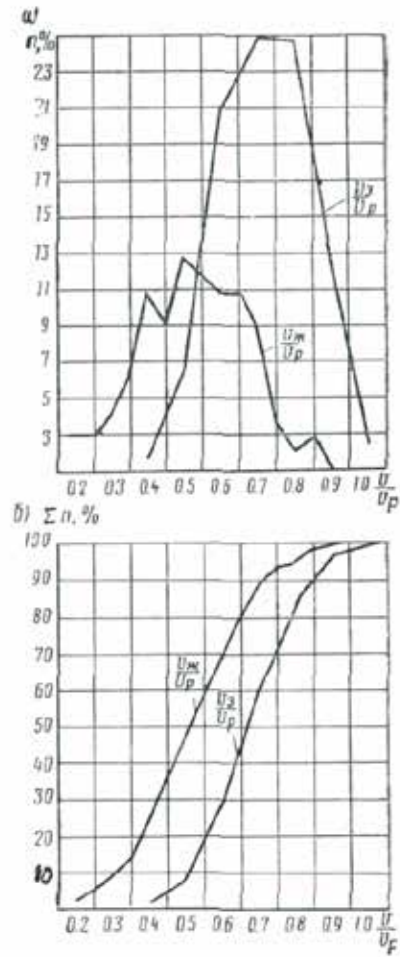


Рис. 8. Дифференциальные (а) и интегральные (б) кривые распределения скоростей при движении поездов на различные показания светофора на участке с тепловозной тягой.

порожних поездов на зелёные и жёлтые показания светофоров.

Отношение фактических скоростей движения поездов к расчётным при проследовании промежуточных станций по главному пути, когда на входном и выходном светофорах зелёный огонь, на электрифицированных линиях в среднем равно 0,78, на участках с тепловозной тягой – 0,75, что на 7–8 % или 5–6 км/ч ниже, чем на перегонах.

Фактическое число предупреждений об ограничении скорости движения поездов на многих участках сети больше, чем предусмотрено графиком. Общее расстояние, проходимое поездом с ограничением скорости $l_{\text{огр}}$, равно сумме протяжённости действия предупреждения $l_{\text{пр}}$, длине поезда $l_{\text{п}}$ и расстояния, проходимого с пониженной скоростью $v_{\text{огр}}$ с учётом замедления и разгона поезда до

и после места, где ограничена скорость. Фактическое расстояние, проходимое поездом с ограничением скорости, в среднем в 2,5 раза больше протяжённости пути действия предупреждения. Анализ скоростемерных лент показал, что фактическая скорость ниже установленной предупреждением в среднем на 20–25 %. Количество поездов, на которые влияет ограничение скорости на подходе к месту его действия:

$$N = \frac{(v_{\text{ср}} - v_{\text{огр}})l_{\text{огр}}}{v_{\text{огр}}(v_{\text{ср}}I - l_{\text{п}} - pL_{\text{б-г}})} - 1,$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения поездов, км/ч;

I – межпоездный интервал, ч;

p – минимальное число блок-участков, разграничивающих поезда, при котором обеспечено устойчивое движение на зелёный

Таблица 2

Отношение фактических скоростей движения к расчётным и графиковым на электрифицированных участках

| Режим движения поездов на сигналы автоблокировки | Число случаев | $\frac{v}{v_p}$ | $\frac{v}{v_{гр}}$ |
|--|---------------|-----------------|--------------------|
| На зелёное показание светофора | 1795 | 0,80 | 0,92 |
| На жёлтое показание светофора | 543 | 0,54 | 0,62 |
| После проследования жёлтого показания светофора | 125 | 0,32 | 0,37 |

Таблица 3

Отношение фактических скоростей движения к расчётным и графиковым на участках с тепловозной тягой

| Режим движения поездов на сигналы автоблокировки | Нечётное направление | | Чётное направление | |
|--|----------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| | Число случаев | $\frac{v}{v_p}$ | Число случаев | $\frac{v}{v_{гр}}$ |
| На зелёное показание светофора | 1060 | 0,77 | 778 | 0,85 |
| На жёлтое показание светофора | 140 | 0,55 | 77 | 0,67 |
| После проследования жёлтого показания светофора | — | — | 29 | 0,46 |

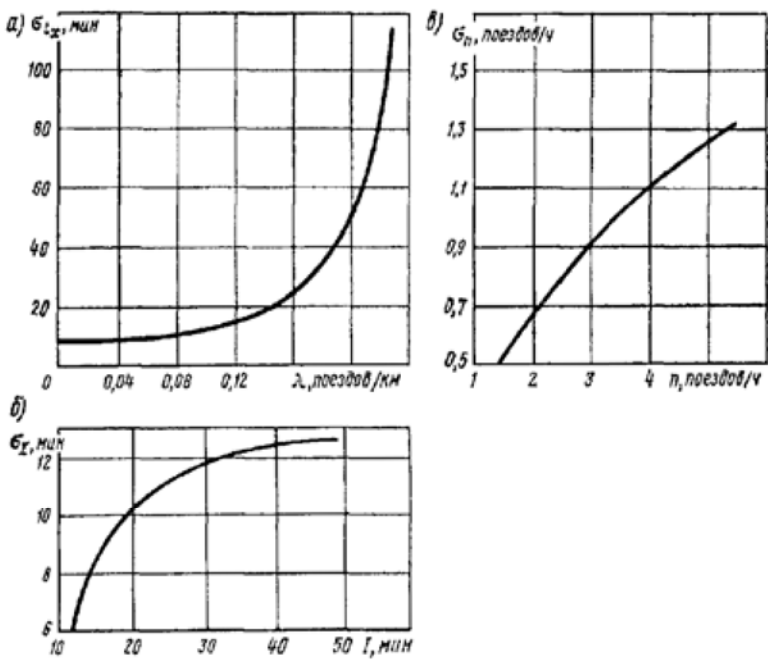


Рис. 9. Зависимость среднего квадратичного отклонения времени хода поездов от плотности потока (а), межпоездного интервала (б), интенсивности движения поездов (в).

огонь светофора (для трёхзначной автоблокировки $p = 3$);

$L_{б-у}$ – средняя длина блок-участка, км.

Фактическая скорость движения поездов в местах действия предупреждений на 2,7÷5,6 км/ч меньше, чем установлена ограничениями.

Исследования показали, что увеличение плотности потока поездов приводит к увели-

чению среднего времени прохождения ими участка. Чтобы оценка рассеяния (абсолютные размеры колебаний) имела размерность случайной величины, используем среднее квадратичное отклонение и вычислим его значения для времени хода поездов по участку (рис. 9а), межпоездных интервалов (рис. 9б) и интенсивности движения поездов (рис. 9в).



Таблица 4

Изменение скорости движения в зависимости от расстояния между поездами

| Пространственный интервал между поездами | Соотношение $S_1 : S$ при длине блок-участков, км | | | Скорость v_1 , км/ч | |
|--|---|------|------|-----------------------|------|
| | 1,5 | 2,0 | 2,5 | | |
| $3 \cdot l_{\text{бл}}$ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 80 | 70 |
| $2,75 \cdot l_{\text{бл}}$ | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 73,6 | 64,4 |
| $2,50 \cdot l_{\text{бл}}$ | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 66,4 | 58,1 |
| $2,25 \cdot l_{\text{бл}}$ | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 60,0 | 52,5 |
| $2 \cdot l_{\text{бл}}$ | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 53,6 | 46,9 |

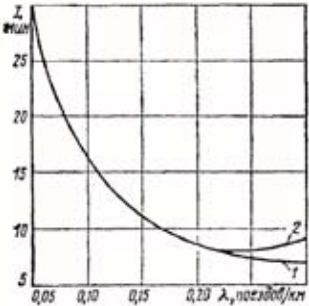


Рис. 10. Влияние плотности потока поездов на средний интервал между поездами на входе (1) и выходе (2) с участка.

Наличие рассеяния возможных значений вокруг среднего значения характеристик потока поездов свидетельствует о несинхронности движения поездов, которая присутствует даже при свободном движении одиночного поезда и возрастает с увеличением загрузки участка. Несинхронность движения вызывает такое влияние поездов друг на друга, что средний фактический межпоездной интервал больше расчётного и интенсивность движения потока поездов на выходе с участка меньше, чем на входе.

При сближении поездов их расчётная скорость v снижается до v_1 и уменьшается использование пропускной способности. В этом случае:

$$\frac{Tv}{60S} = \frac{Tv_1}{60S_1}, \text{ откуда } \frac{v_1}{v} = \frac{S_1}{S} \text{ и } v_1 = \frac{S_1}{S} \cdot v.$$

Чтобы не допустить снижения использования пропускной способности, скорость движения поездов может снижаться пропорционально сокращению расстоянию между поездами (табл. 4).

При сокращении межпоездного интервала на половину блок-участка по сравнению с расчётной нормой скорость снижается на 11,9–13,6 км/ч и составляет 0,83 от расчётной. При дальнейшем уменьшении межпоездного интервала до $S_1 = 2l_{\text{бл}}$, когда поезд следует на жёлтый огонь светофора, скорость должна

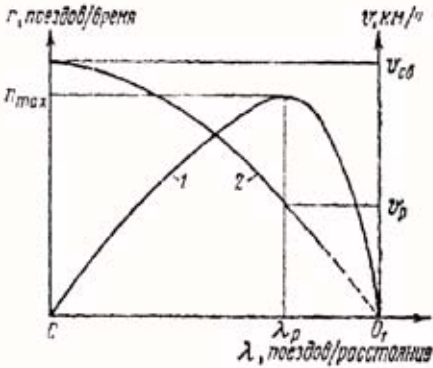


Рис. 11. Диаграмма потока поездов: 1 – $n(\lambda)$; 2 – $v(\lambda)$.

быть равна 0,67 расчётной. Анализ скоростемерных лент подтвердил, что с увеличением плотности поездопотока скорость значительно снижается. Это уменьшение скорости сокращает использование пропускной способности до n_1 , тогда:

$$\frac{n_1}{n} = \frac{60Tv_1S}{60TvS_1} = \frac{v_1S}{vS_1}.$$

Снижение использования пропускной способности при v_1 и S_1 определяется по формуле:

$$\Delta n = \left(1 - \frac{v_1S}{vS_1}\right) 100 \, \%. \quad$$

Исследования последовательного увеличения размеров движения на участке показали, что при увеличении насыщенности участка поездами возрастает их влияние друг на друга, и они всё чаще следуют на жёлтый и красный сигналы светофора. В результате снижается скорость движения поездов. Увеличивается время занятия поездами блок-участков, возникает и возрастает очередь в ожидании пропуска по участку.

Моделированием движения поездов установлено, что увеличение плотности потока вызывает разницу интервалов между поездами на входе и выходе с участка (рис. 10).

Графики зависимостей $n(\lambda)$ и $v(\lambda)$ изменения интенсивности потока и скорости движения от плотности представлены на диаграмме

потока поездов (рис. 11). На ней отражены многие свойства транспортного потока, особенно пространственно-временные соотношения и возможность возникновения помех для движения поездов.

В точках 0 и 0_1 интенсивность движения равна нулю, т.е. по существу нет движения или поток поездов находится в состоянии затора (неподвижности). По мере увеличения плотности потока поездов снижается его скорость, высокие значения которой могут быть получены лишь при малых значениях плотности, т.е. в условиях относительно свободного движения поездов. Это имеет большое практическое значение. При нормировании показателей эксплуатационной работы, оперативном планировании и регулировании движения поездов следует учитывать, что увеличение плотности потока (размеров движения) вызывает снижение скорости движения поездов, а при перенасыщении участков поездами – и снижение использования наличной пропускной способности.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКОРОСТИ С ДРУГИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПОТОКА ПОЕЗДОВ

Исходя из основных характеристик потока поездов, пропускную способность участка можно описать формулой:

$$n = \lambda v, \quad (1)$$

где n – интенсивность движения, поездов/ч;

λ – плотность потока, поездов/км;

v – скорость движения поездов, км/ч.

Если известны две из этих трёх переменных, то третья определяется однозначно. Среди рассматриваемых переменных нет такой, что зависела только от одного параметра. Однако поскольку интенсивность является количественной характеристикой перевозочного процесса, а скорость отражает уровень технического оснащения участков и развития подвижного состава, то их следует считать независимыми переменными, а плотность – зависимой. Соотношение (1) можно наглядно изобразить в виде поверхности в трёхмерном пространстве. Кроме перечисленных уже средних значений, большое практическое и теоретическое значение имеет определение следующих величин:

n_{\max} – максимальная интенсивность движения;

$v_{\text{св}}$ – скорость движения поездов в свободных условиях (в соответствии с тяговыми расчётами или графиком движения);

v_p – скорость, при которой интенсивность движения максимальна ($n = n_{\max}$);

λ_{\max} – максимальная плотность, при которой движение поездов невозможно ($v > 0$);

λ_p – плотность, при которой интенсивность движения максимальна ($n = n_{\max}$).

Зависимость «интенсивность–плотность» (рис. 12) является основной диаграммой потока поездов. С ростом плотности потока поездов интенсивность увеличивается до максимального значения n_{\max} , соответствующего наличной пропускной способности участка (точка B). Начиная с этой точки, увеличение интенсивности на входе участка не приводит к её увеличению на выходе, о чём свидетельствует снижение интенсивности при дальнейшем увеличении плотности потока. Вертикальная пунктирная линия, проведённая из точки B , как бы разделяет условия движения поездов без задержек (слева) и с задержками (справа). Точка A характерна для свободных условий движения поездов без задержек. Точка C находится в зоне условий движения с задержками и показывает, что такой же интенсивности можно достигнуть при значительно меньшей плотности потока (0,16 поездов/км), т.е. содержание избытка рабочего парка вагонов не приводит к увеличению количественных показателей, а, наоборот, уменьшает их и ухудшает качественные показатели эксплуатационной работы. Если же на конкретно взятом участке (рис. 12) необходимо увеличить интенсивность, то плотность потока поездов следует довести до 0,214 поездов/км.

Для характеристики использования пропускной способности участка будем пользоваться уровнем загрузки, который представляет отношение достигнутой интенсивности движения n к максимальной n_{\max} данного участка, т.е. $\gamma = n/n_{\max}$. С помощью этого понятия можно получить сопоставимые характеристики потока поездов на различных участках, так как γ – величина безразмерная и может принимать любые значения от 0 до 1.

В зависимости от скорости потока и его плотности (см. рис. 12) начальный участок кривой соответствует свободному движению поездов. При увеличении плотности потока скорость движения уменьшается в связи с уменьшением среднего межпоездного интервала и возрастанием влияния поездов друг на друга. Скорости движения $v_{\text{св}}$ в свободных условиях соответствует точка A . Эта скорость



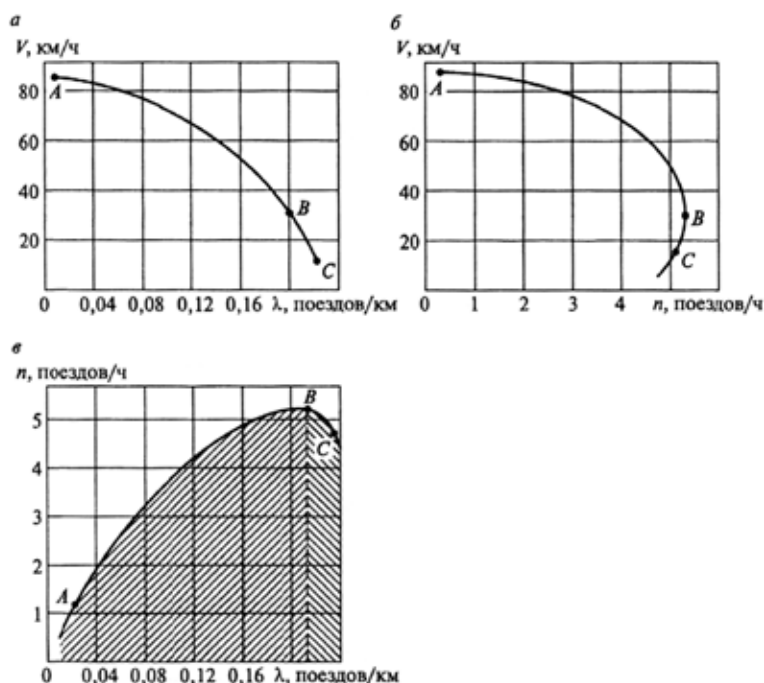


Рис. 12. Зависимость между скоростью потока поездов, интенсивностью и плотностью его движения.

определяется тяговыми расчётами. Зависимость не пересекает вертикальную ось, а приближается к ней асимптотически. Качественное состояние потока поездов можно характеризовать с помощью понятий коэффициента скорости движения и уровня насыщения участка поездами.

Коэффициент скорости движения u – это отношение максимально допустимой скорости v_d при достигнутой плотности к скорости свободного движения $v_{св}$:

$$u = v_d / v_{св}.$$

Коэффициент скорости движения позволяет оценить влияние различной плотности потока на скорость. Величина u безразмерная и может принимать любые значения в диапазоне от 1 до 0.

Уровень насыщения участка – это отношение плотности потока при различных размерах движения λ_d к максимальной плотности λ_{max} :

$$\zeta = \lambda_d / \lambda_{max}.$$

При увеличении интенсивности до максимального значения n_{max} , соответствующего точке B, скорость уменьшается (см. рис. 12). Часть кривой, расположенной выше точки B, соответствует нормальным условиям движения без задержек поездов, нижняя часть

кривой – условиям движения с задержками. Точки A и C на кривой «скорость – интенсивность» соответствуют аналогичным точкам на кривой «интенсивность–плотность». Зависимости на рис. 12 получены на основе моделирования движения потока поездов с помощью ЭВМ.

Важнейшей характеристикой участков является максимальная интенсивность потока поездов (пропускная способность). От использования пропускной способности и оптимизации её развития во многом зависит удовлетворение потребностей грузовладельцев и населения в перевозках грузов и пассажиров.

Плотность потока поездов может приниматься часовая, суточная, месячная, годовая и за соответствующий период будет получена пропускная способность, но формула (1) верна лишь при небольшой загрузке участка поездами. Поскольку увеличение плотности потока поездов приводит к уменьшению скорости движения, правильная функциональная форма выражения (1) будет иметь вид:

$$n(\lambda) = \lambda v(\lambda). \quad (2)$$

Скорость движения поездов распределена в пределах некоторого диапазона (см. рис. 13), поэтому целесообразно определять два вида

средних скоростей (пространственную и временную) и соответственно две плотности распределения вероятностей скоростей v .

Пространственная плотность распределения скоростей $f_s(v)$ определяется для поездов, занимающих участок в заданный момент времени, временная плотность распределения скоростей $f_t(v)$ – для поездов, проходящих данную точку участка в течение заданного интервала времени. Тогда средние пространственная и временная скорости:

- для двухпутных участков:

$$\bar{v}_s = \int_0^{v_{\max}} v f_s(v) dv ; \tag{3}$$

$$\bar{v}_t = \int_0^{v_{\max}} v f_t(v) dv ; \tag{4}$$

- для однопутных участков:

$$\bar{v}_s = \int_0^{v_{\max}} |v| f_s(v) dv ; \tag{5}$$

$$\bar{v}_t = \int_0^{v_{\max}} |v| f_t(v) dv . \tag{6}$$

В формулах (3) и (4) нижний предел принят равным нулю, так как по каждому отдельно взятому пути двухпутного участка нет встречного движения. Нижний предел в формулах (5) и (6) показывает, что на однопутных участках поезда следуют в прямом и обратном направлениях.

Для теории потоков поездов представляют интерес гармонические средние скорости \bar{v}_s и \bar{v}_t , основанные на соответствующих плотностях распределения; например, для двухпутного участка:

$$\bar{v}_s = \frac{1}{\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_s(v) dv} ; \tag{7}$$

$$\bar{v}_t = \frac{1}{\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_t(v) dv} . \tag{8}$$

Необходимость применения в некоторых случаях гармонической средней скорости проиллюстрируем на простом примере, из которого видно, какие трудности возникают при рассмотрении потока поездов. Допустим, что три поезда преодолели перегон длиной 10 км со скоростями 40, 50 и 60 км/ч. Очевидно, что средняя скорость равна 50 км/ч. Аналогично среднее время движения равно 0,206 ч. Однако эти значения (10 км, 50 км/ч, 0,206 ч) не удовлетворяют равенству $s = v t$.

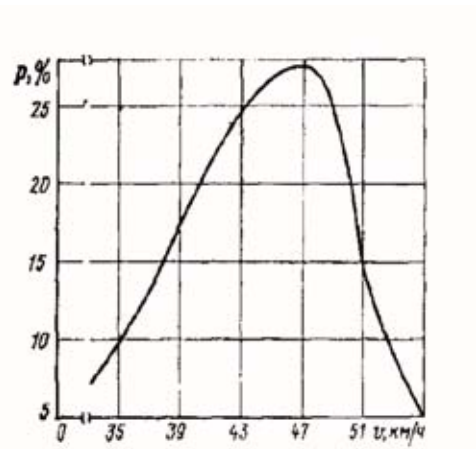


Рис. 13. Распределение ходовой скорости движения поездов на участке.

Причина заключается в том, что данное равенство справедливо для средних значений только в том случае, если для скорости берется гармоническое среднее, а для времени – среднеарифметическое, или наоборот. Здесь, как и выше, подразумевается, что поток поездов является стационарным и что скорость каждого поезда постоянна в течение интервала времени, определяющего среднюю временную скорость, или вдоль участка, определяющего среднюю пространственную скорость.

Пусть $\lambda_v dv$ и $n_v dv$ представляют собой соответственно дифференциалам плотности и интенсивности движения поездов, чья скорость лежит в диапазоне между v и $v + dv$. Тогда справедливы следующие выражения для плотностей распределения $f_s(v)$ и $f_t(v)$:

$$f_s(v) dv = \lambda_v dv / \lambda ; \tag{9}$$

$$f_t(v) dv = n_v dv / n , \tag{10}$$

где λ и n – соответственно плотность и интенсивность потока поездов.

Из выражения (1) следует, что $n v = v \lambda v$.

Используя это выражение, получим из формул (4) и (5):

$$n f_t(v) = v \lambda f_s(v) . \tag{11}$$

Тогда $\bar{v}_s = \int_0^{\infty} v f_s(v) dv = n / \lambda$, так как $\int_0^{\infty} f_t(v) dv = 1$.

$$\text{В результате:} \tag{12}$$

Таким образом, уравнение (1) справедливо для средней пространственной скорости \bar{v}_s , даже если скорости поездов не одинаковы,



а являются случайными величинами с произвольным распределением вероятностей. С другой стороны, путём подстановки уравнения (12) и (11) найдём, что:

$$f_t(v) = f_s(v)v / \bar{v}_s. \quad (13)$$

Уравнение (13) описывает зависимость между пространственной и временной плотностями распределения скоростей. Путём деления на v и интегрирования обеих частей уравнения (13) получим:

$$\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_t(v) dv = \frac{1}{\bar{v}_s} \int_0^{\infty} f_s(v) dv = \frac{1}{\bar{v}_s}.$$

Возвращаясь затем к уравнению (8), замечаем, что $\bar{v}_t = \bar{v}_s$. Таким образом, средняя пространственная скорость равна средней гармонической временной скорости.

Затем рассмотрим связь между \bar{v}_t и \bar{v}_s .

Подставим уравнение (13) в (4):

$$\bar{v}_t = \int_0^{\infty} v^2 f_s(v) dv / \bar{v}_s.$$

Если определить дисперсию средней пространственной скорости как:

$$\sigma_s^2 = \int_0^{\infty} (v - \bar{v}_s)^2 f_s(v) dv = \int_0^{\infty} v^2 f_s(v) dv - \bar{v}_s^2,$$

то получим:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s \left[1 + (\sigma_s / \bar{v}_s)^2 \right].$$

Таким образом, для больших величин σ_s разница между средней пространственной и средней временной скоростями становится также большой.

РЕЗЮМЕ

Распространённая практика изменения только одной составляющей показывает, что в динамичной и внутренне связанной сложной системе железнодорожного транспорта это приводит к изменению многих других составляющих. Результаты исследования взаимодействия скорости движения поездов с другими показателями перевозочного процесса подтвердили это утверждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриянов Е. А. Скорость доставки как конкурентное преимущество // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 13–14.
2. Левин Д. Ю. Системное управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: Монография. – М.: Инфра-М, 2018. – 313 с.
3. Шарапов С. Н. Экономическая оценка повышения установленных скоростей движения грузовых поездов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 25–29.
4. Щегловитов В. Н. Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах. – Варшава, 1909. – 410 с.
5. Васильев И. И. К вопросу о наивыгоднейших соотношениях эксплуатационных и технических элементов движения поезда // Труды МИИТ. – М.: Трансжелдориздат, 1927. – Вып. V.
6. Бабичков А. М., Егорченко В. Ф. Тяга поездов. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – 356 с.
7. Орлов В. Н., Повороженко В. В. Технико-экономические расчёты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Трансжелдориздат, 1943. – 282 с.
8. Ионнисян А. И. К вопросу о выборе скорости движения товарных поездов на руководящем подъёме однопутных линий при паровой тяге // Труды МИИТ. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – Вып. 78.
9. Гибшман А. Е. Вопросы экономики железнодорожного транспорта. Эксплуатационно-экономическое обоснование выбора параметров перспективных паровозов. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – 154 с.
10. Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
11. Пейсахзон Б. Э. Вес и скорость грузовых поездов // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1957. – Вып. 141. – 202 с.
12. Мачерет Д. А., Рышков А. В., Валеев Н. А. и др. Управление экономической эффективностью эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта с использованием инновационных подходов / Под ред. Д. А. Мачерета и А. В. Рышкова. – М.: Рнор, 2018. – 212 с.
13. Виноградов С. А., Новгородцева А. В. О влиянии скорости движения грузовых поездов на эксплуатационные показатели // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 15–18.
14. Анисимов В. А., Осьминин А. Т., Анисимов В. В. Концепция повышения допускаемых скоростей движения поездов в рамках полигонных технологий // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 19–25.
15. Железнов Д. В., Митрофанов А. Н., Митрофанова Н. В. На основе методики идентификации и прогнозирования // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 36–41.
16. Зубков В. Н., Рязанов Е. В., Чеботарева Е. А. Скорость движения поездов – индикатор качества перевозок пассажиров и грузов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 45–51. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, главный эксперт АО «НИИАС», Москва, Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступил в редакцию 10.10.2019, одобрена после рецензирования 20.09.2021, принята к публикации 04.10.2021.



ИСТОРИЯ С ПРОДОЛЖЕНИЕМ

Оба материала в рубрике «Колесо истории» представляют собой первые части печатающихся с продолжением публикаций.

СУХОПУТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

92

В первой части речь идёт о зарождении создаваемой человеком дорожной инфраструктуры и о первых транспортных средствах. Несмотря на то, что в журнале неоднократно публиковались материалы об эволюции транспорта, тема неисчерпаема и каждый автор находит в ней свои особые привлекательные черты и любопытные факты.



КАК ХОТЕЛИ УЛУЧШИТЬ УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫМИ ДОРОГАМИ: 110 ЛЕТ НАЗАД

103

Часть доклада видного эксперта в Российском техническом обществе в 1910 году. В предлагаемой публикации основное внимание уделено кадровым вопросам, как бы мы сейчас сказали, развитию человеческих ресурсов и комплексной кадровой и социальной политике железных дорог. И тогда, как и сейчас, понимали, что залогом успешной деятельности транспортников является квалифицированный и мотивированный персонал.

КОЛЕСО ИСТОРИИ





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.025

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-11>

История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 1

*Алексей Дмитриевич Разуваев**Российский университет транспорта, Москва, Россия.**✉ razuvaevalex@yandex.ru.*

Алексей РАЗУВАЕВ

АННОТАЦИЯ

В статье, состоящей из двух частей, анализируется историко-экономический аспект и технико-технологическая основа возникновения, становления и эволюционного развития сухопутной транспортной инфраструктуры. В отличие от водного и воздушного, наземный транспорт, ввиду своей территориальной привязанности, развивался очень сдержанно и нелинейно. Его инфраструктура, представленная простейшими тропами и дорогами, конечно, играла определённую экономическую роль, но до XVIII–XIX вв. не рассматривалась как основа регулярного продвижения и товарного обмена. При этом в различных частях света инфраструктура сухопутного транспорта формировалась по-разному, что во многом обусловлено сложившимися социально-экономическими институтами.

На протяжении многих веков техническое состояние сухопутной транспортной инфраструктуры и её эконо-

мическое значение не претерпевали особых изменений. Поэтому окончание средневековой эпохи и значительный рывок в развитии сухопутного транспорта – взаимообуславливающие процессы. Зарождение эпохи экономического роста, включающего развитие международной торговли и увеличение общественного благосостояния, было бы невозможно без отлаженной транспортной системы на суше. Тем не менее, сухопутный транспорт до начала XIX в. не ассоциировался с надёжным, быстрым и регулярным средством обмена и перемещения. Только с появлением железных дорог ситуация изменилась коренным образом. При этом параллельно происходило развитие дорог с твёрдым покрытием. Именно с этого момента времени сухопутный транспорт и его инфраструктура стали основой активной экономической деятельности общества.

Ключевые слова: сухопутный транспорт, рельсовые пути сообщения, инфраструктура железных дорог, социально-экономическое развитие, экономическая история, исторический анализ.

Для цитирования: Разуваев А. Д. История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 1 // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 92–102. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-11>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Становление сухопутной транспортной инфраструктуры

Инфраструктура сухопутного транспорта известна с древнейших времён. Тропа или грунтовая дорога – простейший объект транспортной инфраструктуры. За несколько тысяч лет дороги значительно эволюционировали, превратившись в сложные технические системы, являющиеся артериями для торговли и передвижения людей. Экономическая значимость наземного транспорта очень велика, поскольку проникая в любую точку континента он «стягивает» расстояния и создаёт наиболее благоприятные условия для обмена и разделения труда. Сухопутный транспорт и его инфраструктура уникальны и тем, что вынуждены конкурировать с другими видами транспорта – водным и воздушным – в неравных условиях, поскольку нуждаются в создании искусственного пути. Во многом именно поэтому до XVIII–XIX веков перевозки по суше были сложнейшей задачей. Только с появлением рельсового пути (железных дорог) наземный транспорт смог конкурировать с водным и стал главнейшим катализатором эпохи современного экономического роста.

Действительно, стоит отметить, что начиная с древних цивилизаций, в Мезоамерике, на землях майя, существовала разветвлённая дорожная сеть – сакбе («белая дорога» – мощённая из камня дорога) (рис. 1), развитию которой придавалось особое значение, невзирая на доминирование водных грузоперевозок и отсутствие тягловых животных [1].

Аналогично развитие дорог происходило в ранний период существования андской цивилизации, в I–II вв. до н.э. Тогда благополучие и социально-экономический статус провинции зависели от наличия дороги [2, с. 261]. К середине I тысячелетия н.э. в Андах складывается сеть магистральных путей – уже не троп, а благоустроенных, оборудованных караванными терминалами дорог, по которым перегоняли караваны из многих сотен лам. Благодаря этому в андской цивилизации развивалась специализация, возникали поселения [3].

Наиболее протяжённая из инкских дорог составляла свыше 5 тыс. км. Это вдвое больше знаменитой «Царской дороги» – главной сухопутной магистрали Персидской империи. Общая длина благоустроенных путей у инков, по некоторым оценкам, достигла 30 тыс. км. Это означает, что обеспеченность



Рис. 1. Сакбе. Мощённая из камня дорога. (Сакбе – загадочные древние дороги майя. [Электронный ресурс]: <https://zen.yandex.ru/media/chronoton/sakbe-zagadochnnye-drevnie-dorogi-maiia-5df0b53eb477bf00af8391ef>. Досмун 11.06.2021).





Рис. 2. Участок «Царской дороги», сохранившийся до наших дней. (Персидская держава: история возникновения, быт и культура. [Электронный ресурс]: <https://autogear.ru/article/165473/persidskaya-derjava-istoriya-vozniknoveniya-byit-i-kultura>. Доступ 11.06.2021).

и территории, и населения сухопутной транспортной инфраструктурой превышала тогда уровень Римской Империи, которую можно считать эталоном транспортного развития (в особенности – сухопутного) в Древнем мире. А в сопоставимой по времени с империей инков Европе вообще не было дорог, близких по благоустройству инкским. Во многом разветвлённая сеть дорог способствовала объединению и единству империи инков [2, с. 263; 4].

Широкомасштабное устройство сухопутных путей сообщения на Востоке осуществлялось Ассирийской и Персидской империями [5].

В Персидской империи, объединившей практически весь Древний Восток, была создана уникальная дорожная сеть. Благоустроенные дороги пересекали страну в разных направлениях. Упомянутая ранее «Царская дорога» имела протяжённость почти 2 тыс. км (рис. 2).

Греки также имели хорошие дороги, служившие, однако, главным образом для сообщения со священными местами. Примечателен опыт Греции в создании колейных дорог. Самая известная – диолк – колейный волок

вдоль Коринфского канала (рис. 3). Также, в Древней Греции использовали колею для различных нужд, когда была необходимость перевозки на небольшое расстояние тяжёлых грузов¹ [6, с. 9; 7].

В Римском государстве (республике, а потом – Империи), ставшем преемником эллинистического мира в Средиземноморье, была создана мощная дорожная сеть, имевшая, как и в Персидской империи, прежде всего военно-стратегическое значение, но, естественно, облегчавшая торговые связи и путешествия [8–10].

Можно сказать, что Римское государство развивалось вместе с развитием дорожной сети. Первая древнеримская мощёная дорога – Аппиева (длина 62 км) – была сооружена в конце IV в. до н.э. (рис. 4).

Через пять столетий, в период наибольшего могущества Римского государства, уже ставшего Империей и подчинившего себе не только всё Средиземноморье, но и ряд удалённых от него земель, там существовало 372 мощёных камнем дороги, общей протяжён-

¹ Колейные дороги Древней Греции. [Электронный ресурс]: <https://aldanov.livejournal.com/364552.html>. Доступ 11.06.2021.



Рис. 3. Каменный желоб для транспортировки тяжёлых грузов.
(Диолк. [Электронный ресурс]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Диолк>. Доступ 11.06.2021).



Рис. 4. Участок Анпиевой дороги (современный вид). (Анпиева дорога.
[Электронный ресурс]: <https://a-dedushkin.livejournal.com/630813.html/>. Доступ 11.06.2021).





Рис. 5. Художественная иллюстрация технологии строительства римских дорог с послойной детализацией кладки. (Как строились римские дороги. [Электронный ресурс]: https://pikabu.ru/story/kak_stroilis_rimskie_dorogi_5870592. Доступ 11.06.2021).

ностью около 80 тыс. км. Эти дороги строились по прямой линии, по бокам их выкапывались канавы для стока воды, через реки и овраги перебрасывались мосты, некоторые из которых сохранились до нашего времени.

Усердие Римской Империи в дорожном строительстве было очень значительным и поддерживалось различными социальными институтами и развитой инженерной мыслью [11, с. 179–180]: «Дороги в древних обществах были чаще всего грунтовыми, и в разные времена года они превращались в болотистые канавы или пыльные тропы. Римляне, начав с Аппиевой дороги (Via Appia) из Рима в Капуя в 312 году до н. э., вложили огромное количество труда и организационных усилий, чтобы создать обширную сеть дорог с твёрдым покрытием. Качественные римские *viae*² состояли из слоёв гравийного бетона, булыжников, или закреплённых раствором каменных плит. К правлению Дио-

кетиана (285–305 гг.) римская система дорог (*cursus publicus*) выросла до 85 тысяч километров. <...> В Западной Европе римские достижения в дорожном строительстве были превзойдены только в XIX веке, а в восточных регионах континента – лишь в двадцатом» (рис. 5).

Трудовые затраты на сооружение римских дорог подробно анализируются в работе [11, с. 180]. В ней приводятся данные, что из расчёта потребности в строительных материалах и трудозатрат на сооружение дороги можно получить сумму в 1,2 млрд трудодней (данная сумма складывается из следующих граничных условий: при ширине дорожного полотна, равной 5 м и глубине, равной 1 м, а также протяжённости ~85 тыс. км, первоначальные земляные работы принимаются равными 800 Мм³, а последующие работы по перемещению строительного материала – 425 Мм³. Допустив, что один рабочий справляется с 1 м³ материала в день, получается суммарное

² Дороги (лат.).

значение 1,2 млрд трудодней.). Даже если постоянное осуществление текущего содержания и ремонта дорог увеличат эту цифру втрое, то пропорциональное её распределение на 600 лет строительства даст в результате ежегодное среднее значение порядка 6 млн трудодней, что является эквивалентом работы 20 тыс. строителей (при примерном количестве 300 рабочих дней в году).

Римские дороги, учитывая масштаб строительства, затраты энергии, времени, материала и труда, можно смело относить к одному из чудес света. Скорость движения по ним и объёмы перевозок по суше были на тот момент самыми развитыми, учитывая, что скорость передачи информации с Античности до конца Средневековья была почти неизменной и составляла около 1 мили в час [12, с. 253].

Тогда большие расстояния покрывали гонцы на быстрых лошадях: зафиксированный максимум для римских дорог составлял около 380 км/день [11, с. 180].

Товарные перевозки по суше были плохо развиты. Низкие скорости и малые возможности наземного транспорта приводили к большим затратам. В 301 году перевозка зерна на 120 км по дороге стоила дороже, чем переправка его на корабле из Египта в Остию – морские ворота Римской империи [11, с. 182].

На территории мусульманского мира не было ничего сравнимого с римскими дорогами, хотя коммуникации были интенсивными. Далеко отдалённые друг от друга города и страны соединялись караванными маршрутами и путями, которые технически были всего лишь тропами [11, с. 180].

Про отмеченную ранее историю создания улично-дорожной сети Инкской Империи, обладавшей значительной протяжённостью, но на которой не использовался колёсный транспорт, в работе [11, с. 181] отмечается: «Инки, укрепляя свою империю в XIII–XIV веках, построили впечатляющую сеть дорог. <...> Общая их длина достигала около 40 тысяч километров, включая 25 тысяч километров всепогодных дорог, пересекающих дренажные трубы и мосты и оборудованных указателями расстояний. Из двух главных королевских дорог одна, выходящая через Анды, имела покрытие из камня. Её ширина варьировалась от 6 метров на речных террасах до всего лишь 1,5 м там, где она шла через скалы. Лишё-

ная каменной поверхности дорога у побережья была 5 метров в ширину. Дороги у инков не были предназначены для колёсного транспорта, по ним двигались лишь караваны людей и вьючных лам, несущих по 30–50 кг груза на животное и проходивших менее 20 км/сут.». При этом К. Маркс отмечал, что «...в царстве инков транспортная промышленность играла большую роль, хотя общественный продукт не обращался как товар, не распределялся посредством меновой торговли» [13].

В Китае, во времена династий Цинь и Хань, построили обширную систему дорог общей длиной около 40 тысяч километров. Созданная примерно в то же время римская дорожная сеть имела бóльшую протяжённость и дорожную плотность на единицу территории, и ещё обладала лучшим покрытием.

Инфраструктура наземного транспорта в эпоху Средневековья не только не получала дальнейшего развития, но и была фактически уничтожена. Происходившие в Европе социально-экономические процессы, в частности набеги усилившихся варварских племен и натурализация хозяйства, отбросили инфраструктуру дорожной сети на период до античной эпохи [8].

Первой жертвой упадка и развала торговой системы античных времен стали римские дороги. При этом появляющиеся позже средневековые дороги, с материальной точки зрения, были не столько дорогами, сколько путями [14, с. 36].

Дороги практически не сооружались и не обслуживались [15]: «Почти все сухопутные дороги были грунтовыми, что крайне затрудняло или даже делало невозможным их использование во время весенней и осенней распутицы. При этом они часто были настолько узки, что две повозки не могли разъехаться. Сохранившиеся участки мощёных древнеримских дорог окрестные жители нередко разбирали, чтобы добыть камень для своих нужд».

«Средневековая дорога была удручающе долгой, медленной». Дневные переходы «варьировались в зависимости от характера местности от 25 до 60 км» [14, с. 166].

До конца уничтожить римскую дорожную сеть не удалось, именно поэтому Византия, унаследовавшая от Римской империи сеть сухопутных дорог и морские





Рис. 6. Просёлочная дорога по технологии Макадама.
(Macadam. [Электронный ресурс]: <https://en.wikipedia.org/wiki/Macadam>. Доступ 11.06.2021).

порты, стала играть ключевую роль в торговле между Востоком и Западом.

Ключевым событием, обусловившим становление современной инфраструктуры наземного транспорта, стало создание искусственного пути, в дальнейшем эволюционировавшего в железнодорожный путь.

Эволюционное развитие сухопутной транспортной инфраструктуры

Развитие дорожной сети и транспортных средств тесно связаны между собой, настолько тесно, что совершенствование транспортных средств зависит от качества дорожного покрытия, т. е. качества путевой инфраструктуры [16]. К примеру, в Англии при правлении Карла I какое-то время запрещали движение дилижансов по дорогам общего пользования, дабы оградить их от износа. Но был и более строгий запрет. Законом ограничивалась минимальная ширина железной покрышки повозки (до 40 мм). При этом ширококолёсные транспортные средства даже освобождали от налога на заставах [17, с. 232].

По качеству дорожных покрытий, непосредственно перед началом промышленной революции лидировала Франция, внедряя новые виды мощения и снижая тарифы на текущее содержание. В середине XVII века в Великобритании стали появляться специальные организации по текущему содержа-

нию дорожных покрытий – дорожные тресты, прообраз современных инфраструктурных транспортных компаний. До них содержание дорог осуществлялось силами жителей округа, где эта дорога проходила [17, с. 477].

Эволюция мощения дорог в Великобритании позволила в 1832 г. (как раз во время массового использования карет и повозок) увеличить среднюю скорость движения до 15 км/ч, а путь по маршруту Лондон–Эдинбург, который до 1776 г. составлял четыре дня, можно было преодолеть за 42,5 часа. Технология мощения Д. Л. Макадама стала наиболее применимой в мире во многом благодаря простым решениям и низкой стоимости строительства (рис. 6) [17, с. 480].

С увеличением интенсивности движения на смену мощёным покрытиям пришли асфальтобетонные. В XVII и начале XVIII века в Англии появилась рельсовая дорога, которая в самой примитивной форме была у немецких шахтёров уже 30–60 лет назад. Сначала на вагонетку ставился направляющий ведущий штырь, перемещающийся по жёлобу, а затем получили применение деревянные фланцевые колёса (рис. 7, 8) [17, с. 233].

Англичане впервые применили рельсы в 1597–1598 гг. в шахтах по добыче каменного угля. Колесо вагонетки катилось в пазу

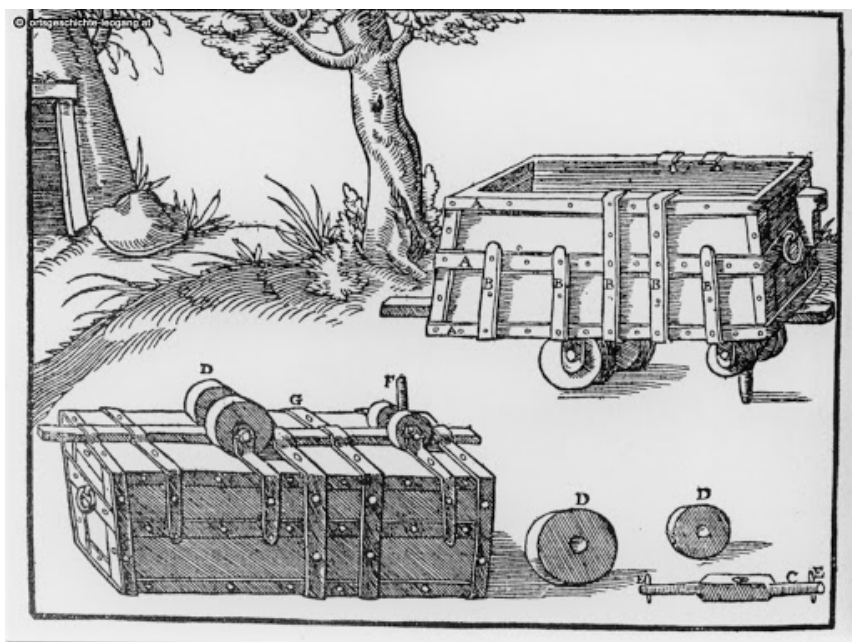


Рис. 7. Деревянная вагонетка с направляющим осевым штырём.
 (Minecart. [Электронный ресурс]: <https://en.wikipedia.org/wiki/Minecart>. Доступ 11.06.2021).



Рис. 8. Деревянная вагонетка на деревянных направляющих (лежнях) с колёсами, имеющими реборды.
 (История железнодорожного транспорта.
 [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/История_железнодорожного_транспорта. Доступ 11.06.2021).

по лежням, по принципу движения по античной колейной дороге, но затем изменилась форма и рельса, и колеса. Первоначально рельсы производили из дерева. В 1767 году были изготовлены первые металлические рельсы для металлургического завода в Колбрукдейл [17, с. 234]. Затем, в течение десяти лет во всей заводской рельсовой системе (её протяжённость составляла 16 миль, около 26 км) деревянные рельсы были заменены железными.

Появление железных дорог обусловлено двумя макроизобретениями: выплавкой

относительно дешёвого чугуна и появлением парового двигателя [12, с. 253].

Первая в мире железная дорога общего пользования с паровой тягой была построена в Англии Джорджем Стефенсоном в 1825 г. – между Стоктоном и Дарлингтоном³ [18]. Паровоз «Локомотив» 27 сентября провёл поезд из 34 вагонов, включая 28 вагонов с 400 пассажирами, со скоростью до 24 км/ч. В 1830 г. по проекту Стефенсона

³ Железная дорога Стоктон–Дарлингтон. [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Железная_дорога_Стоктон_—_Дарлингтон. Доступ 11.06.2021.



на была построена и введена в эксплуатацию Ливерпуль-Манчестерская железная дорога протяжённостью около 50 км [19, с. 28].

Говоря же о первых железнодорожных линиях, нельзя не отметить Мидлтонскую железную дорогу – старейшую в мире общественную железную дорогу, работающую без перерывов с 1758 года. Она прошла весь путь ранней эволюции – от конки и чугунных рельсов до зубчатого рельса и пара. Изначально эксплуатировалась как промышленная, а затем как коммерческая⁴.

В то время отличительными особенностями дорожного (шоссейного), а затем и железнодорожного строительства стали масштабные земляные работы, осушение болот, необходимость соблюдения минимального продольного уклона и преодоление естественных препятствий (реки, ущелья, горы). В связи с этим, начиная с XVIII века, новый виток развития получило мостостроение. Известны мосты Жан-Родольфа Перроне (Франция), Роберта Майлна, Джона Ренни, Абрахама Дарби, Томаса Телфорда (все Великобритания), Дмитрия Журавского (Российская Империя) [17, с. 498–508].

На новый уровень вышло тоннелестроение, до этого активно применявшееся только для горнодобывающей промышленности. В 1830 году сооружён тоннельный участок железной дороги на Ливерпуль. Тоннели прокладывали под Темзой – Тауэрский тоннель (1869 г.), и в Альпах в конце XIX века – начале XX века – Мон-Сенис, Сен-Готард, Симплон [17, с. 508–514].

Инфраструктурные ограничения оставались во многих странах до XVIII века [11, с. 182]: *«Например, в начале века определённые товары было дешевле доставить в Англию морем из Европы, чем привезти сушей из отдалённых районов страны. Путешественники описывали состояние британских дорог как варварское, отвратительное, мерзостное и адское»*.

Дороги в континентальной Европе были не лучше. Фундаментальные улучшения в дорожной инфраструктуре начались только после 1750 года. Сначала они включали расширение дорог и обеспечение хорошего

отвода воды (дренажа), а позже – создание и усиление покрытия с помощью более прочных материалов (гравий, асфальт, бетон). К середине XIX века максимальный разрешённый для провоза груз во Франции увеличился почти до 1,4 тонны, в четыре раза больше, чем в римские времена [11, с. 182].

Заметки отечественных путешественников, преодолевших значительные расстояния в эпоху до железных дорог, аналогично, изобилуют множеством нелестных отзывов о дорожной инфраструктуре. Мало того, что дороги приемлемого качества существовали только в западной части Российской Империи, среди их числа всего несколько маршрутов позволяли перемещаться на колёсном транспорте без многочасовых или даже многодневных остановок (дороги из Санкт-Петербурга в Москву, в Псков, в Новгород). Про неудобства передвижения писали А. С. Пушкин, А. Н. Радищев, английский учёный У. Кокс, ганноверский резидент при русском дворе Ф. Х. Вебер, почётный лейб-хирург и личный врач Александра I Д. К. Тарасов и многие другие. Тем не менее, страсть к путешествиям у отечественных писателей, поэтов и деятелей искусства не угасла, а с появлением железных дорог, наоборот, начала проявляться в большей степени, о чём свидетельствует их публикационная активность и вовлечённость в транспортную тематику [20–22].

Касательно темы развития железных дорог, стоит отметить, что [11, с. 236]: *«Начавшиеся с первой междугородней ветки в 56 км (Ливерпуль–Манчестер) в 1830 году, британские железные дороги протянулись до 30 тыс. км к 1900 году, в Европе их общая длина составила 250 тыс. км. По всему миру наиболее мощная экспансия железных дорог наблюдалась в три последних десятилетия XIX века. К 1900 году сеть в России достигла 53 тыс. км (но Транссибирскую магистраль до Тихого океана достроили только в 1917 г.), в США на тот же момент было более 190 тыс. км (включая три трансконтинентальные ветки), а всего в мире (с большей частью из оставшегося в Британской Индии) насчитывалось 775 тыс. км. В результате расширение железнодорожной сети стало главной причиной не имевшего прецедентов спроса на сталь во второй половине столетия»*.

⁴ Мидлтонская железная дорога. [Электронный ресурс]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мидлтонская_железная_дорога. Доступ 11.06.2021.

Следует отметить интересный факт, что в городском транспорте пик важности лошадей пришёлся на эру паровозов, между 1820-ми годами и концом XIX века. В то время как железные дороги осуществляли перевозки на большие дистанции, тягловый транспорт стал доминировать во всех быстрорастущих городах Европы и Северной Америки, выполняя перевозки на небольшие расстояния. Эра паровых двигателей повысила уровень использования лошадей. Так, грузы для железных дорог требовалось собрать и привезти на станцию на телегах, запряжённых лошадьми. Обойтись без них не удавалось и при доставке продуктов и сырья из пригородов [11, с. 182]. В скором времени, в конце XIX века, с развитием электричества и двигателя внутреннего сгорания, трамваи и автомобили стали вытеснять экипажи с дорог.

Сооружение железных дорог развивалось беспрецедентными темпами, меняя облик городов и стран, влияя на жизнедеятельность людей [11, с. 314]: *«Железные дороги преобразили транспортную систему на протяжении всего лишь десятилетий. Благодаря им не только сжалось и изменило свою конфигурацию пространство, повысился и уровень комфорта для путешественников. Скорость миль в минуту (96 км/ч) была первый раз достигнута на краткое время рядовым английским поездом в 1847 году; этот год также отмечен величайшей активностью в постройке железных дорог в Великобритании, которая получила плотную сеть нового транспорта всего за два поколения».*

Задав темп, Британия стала терять лидерство в скорости и протяжённости железнодорожного строительства, но продолжала строительство в колониях. Активными продолжателями британских строительных традиций явились США и Россия [11, с. 314]: *«Общая протяжённость британских железных дорог вскоре была превзойдена американскими, которые начали сооружать в 1834 году в Филадельфии. К 1860 году в США было 48 тыс. км путей, в три раза больше, чем в Соединённом Королевстве. К 1900 году разница увеличилась почти в десять раз. Первая трансконтинентальная ветка была закончена в 1869 году, и к концу века построили ещё четыре таких линии. В России железнодорожный транспорт*

тоже развивался очень быстро: к 1860 году было менее 2 тыс. км путей, но цифра выросла до более 30 тыс. к 1890-му и до почти 70 тыс. в 1913-м. Трансконтинентальную ветку через всю Сибирь до Владивостока начали строить в 1891 году, но полностью закончили только в 1917-м. Когда англичане ушли из Индии в 1947 году, они оставили после себя 54 тыс. км железных дорог (и 69 тыс. на всем субконтиненте). Никакая другая материковая страна Азии не строила железные дороги в значительных объёмах до Второй мировой войны».

После войны усилилась конкуренция со стороны новых видов транспорта: автомобилей и самолётов. Они снизили сравнительную важность железных дорог в большинстве промышленных стран. Тем не менее, на протяжении второй половины XX века СССР, Бразилия, Ирак и Алжир энергично сооружали новые линии, а Китай стал лидером в Азии (сооружено более 30 тыс. км между 1950 и 1990 годами). А самая успешная железнодорожная инновация послевоенного периода – скоростные поезда дальнего следования (японские *Shinkasen*). Они начали осуществлять движение в 1964 году между Токио и Осакой и развивали максимальную скорость до 250 км/ч. На сегодняшний день Япония является страной, имеющей более чем полувековой опыт эксплуатации высокоскоростных линий на инновационной основе [11, с. 314–315; 23].

С 1983 года начата эксплуатация французских *trains a grand vitesse (TGV)*. Это первый проект ВСМ в Европе, скоростной режим которого подразумевает скорость до 280 км/ч. Похожие скоростные линии существуют в Испании (*AVE*), Италии (*Frecciarossa*) и Германии (*Intercity*). За последние 20 лет Китай стал новым рекорсменом в общей протяжённости линий высокоскоростного железнодорожного транспорта. В 2014 году там было 16 тыс. км подобных дорог, а в 2019 году – уже более 30 тыс. км. К примеру, в США *Acela* (Бостон–Вашингтон, средняя скорость всего 100 км/ч) сложно даже отнести к числу современных высокоскоростных поездов [11, с. 315; 24].

**Продолжение
в следующих номерах журнала ●**



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов Г. Г. Древняя Америка: полёт во времени и пространстве. Мезоамерика. – М.: Алетея, 2002. – 392 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/view/ershova-gg-drevnyaya-amerika-polet-vo-vremeni-i-prostranstve-mezoamerika_3f6b48c64c2.html. Доступ 11.06.2021.
2. Мачерет Д. А. Социально-экономическая оценка транспорта на основе исторических сравнений // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 1 (62). – С. 256–271. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/900>. Доступ 11.06.2021.
3. Березкин Ю. Е. Инки. Исторический опыт империи. – Л.: Наука, 1991. – 230 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/berezkin-yue-inki-istoricheskii-opyt-imperii_1175325376a.html. Доступ 11.06.2021.
4. Галич М. История доколумбовых цивилизаций / Пер. с исп. – М.: Мысль, 1990. – 407 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/galich-manuel-istoriya-dokolumbovyh-civilizaciy_df10f723a57.html. Доступ 11.06.2021.
5. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее. – М.: Красанд, 2014. – 234 с. ISBN 978-5-396-00528-0.
6. Загорский К. Я. Экономика транспорта. – М.–Л.: Госиздат, 1930. – 368 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Доступ 11.06.2021.
7. Lewis, M. J. T. Railways in the Greek and Roman world. Eds. J. Rees. A Selection of Papers from the First International Early Railways Conference, 2001, pp. 8–19. [Электронный ресурс]: <https://pdfslide.net/documents/railways-in-the-greek-and-roman-worlds.html>. Доступ 11.06.2021.
8. Мачерет Д. А., Кудрявцева А. В., Ледней А. Ю., Чернигина И. А. Общий технико-экономический курс железных дорог. – М.: МИИТ, 2017. – 364 с. [Электронный ресурс]: <https://www.twirpx.club/file/3022625/>. Доступ 11.06.2021.
9. Сотников Е. А. Железные дороги мира из XIX в XXI век. М.: Транспорт, 1993. – 200 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/sotnikov-ea-zheleznyye-dorogi-mira-iz-xix-v-xxi-vek_c666f295dd1.html. Доступ 11.06.2021.
10. Сотников Е. А. История и перспективы мирового и российского железнодорожного транспорта (1800–2100 гг.) – М.: Интекст, 2005 – 112 с. ISBN 5-89277-060-5.
11. Смил В. Энергия и цивилизация / Пер. с англ. Д. Л. Казакова. – М.: Эксмо, 2020. – 480 с. ISBN 978-5-04-101573-2.
12. Мачерет Д. А., Валеев Н. А., Кудрявцева А. В. Формирование железнодорожной сети: диффузия эпохальной инновации и экономический рост // Экономическая политика. – 2018. – Т. 13. – № 1. – С. 252–279. DOI: 10.18288/1994-5124-2018-1-10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32655127>. Доступ 11.06.2021.
13. Маркс К. Капитал. Полная квинтэссенция 3-х томов / Пер. с нем. С. Алексеева; сост. и предисл. Ю. Борхардта. – М.: АСТ, 2019. – 352 с. [Электронный ресурс]: https://royallib.com/read/marks_karl/kapital_polnaya_kvintessentsiya_3h_tomov.html#0. Доступ 11.06.2021.
14. Ле Гофф Ж. Цивилизация средневекового Запада / Пер. с фр. под общ. ред. В. А. Бабинцева; послесл. А. Я. Гуревича. – Екатеринбург: У-Фактория, 2005. – 560 с. ISBN 5-9709-0037-0. [Электронный ресурс]: <https://booksprime.ru/books/civilizaciya-srednevekovogo-zapada/>. Доступ 11.06.2021.
15. Мачерет Д. А. Социально-экономическая роль транспорта в средние века // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 2 (57). – С. 228–237. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/289>. Доступ 11.06.2021.
16. Мельников А. История колеса. От гончарного круга до шасси авиалайнера. – М.: Центрполиграф, 2021. – 351 с. ISBN 978-5-227-09364-6.
17. Дерри Т., Уильямс Т. Краткая история технологий. Идеи, процессы и устройства, при помощи которых человек изменяет окружающую среду с древности до наших дней / Пер. с англ. А. А. Ильиной. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2019. – 488 с. [Электронный ресурс]: <https://obuchalka.org/20210724134561/kratkaya-istoriya-tehnologii-derri-t-uilyams-t-2019.html>. Доступ 11.06.2021.
18. Левин Д. Ю. История железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2018. – 414 с. ISBN 978-5-222-28294-6.
19. История железнодорожного транспорта России. – Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб., 1994. – 336. ISBN 5-85952-005-0. [Электронный ресурс]: <https://bookreec.org/reader?file=638029&pg=6>. Доступ 11.06.2021.
20. Вульффов А. История железных дорог Российской империи. – М.: Рипол Классик, 2016. – 744 с. ISBN 978-5-386-08589-6. [Электронный ресурс]: <https://fb2lib.ru/obshchie-raboty-po-istorii-rossii/istoriya-zheleznykh-dorog-rossiyskoy-imperii/>. Доступ 11.06.2021.
21. Павлов А. Из Петербурга в Псков в эпоху до железных дорог. К истории путей сообщения в России XVIII–XIX столетий. – СПб.: Нестор-История, 2020. – 144 с. ISBN 978-5-4469-1021-2.
22. Разуваев А. Д. Журнал «Современник» о железной дороге (социально-экономический анализ) // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 2 (87). – С. 260–269. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-269>.
23. Цыпин П. Е., Разуваев А. Д. Современные тенденции развития инфраструктуры железных дорог / Сборник научных трудов «Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний». – М.: Арт-Бизнес-Центр, 2016. – С. 182–187. [Электронный ресурс]: <https://lektisii.org/7-79925.html>. Доступ 11.06.2021.
24. Разуваев А. Д. Методология оценки упущенных эффектов от отдаления строительства ВСМ // Экономика железных дорог. – 2019. – № 12. – С. 30–39. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41509420>. Доступ 11.06.2021.

Информация об авторе:

Разуваев Алексей Дмитриевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российского университета транспорта, Москва, Россия, razuvaevalex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 11.06.2021, одобрена после рецензирования 06.09.2021, принята к публикации 22.10.2021.



О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 1



Пресс-архив

Опытный руководитель железных дорог Н. П. Верховский написал книгу «Железнодорожная неразбериха», посвящённую комплексному решению широкого круга насущных вопросов организации работы железных дорог. В 1910 году он представлял её в докладе в VIII Отделе Императорского Российского Технического Общества. Доклад по сути представлял собой акцентированное изложение её содержания. Публикуемые извлечения из первой части доклада посвящены подробным и аргументированным рассуждениям автора о требованиях к образованию инженеров, руководителей дорог. Если использовать современные термины, то речь шла наиболее подходящей для занятия руководящих постов карьерной траектории, развитии профессиональных и «мягких» компетенций, лидерских качествах и командообразовании, о роли институтов путей сообщения и включении в образовательные программы ряда насущных направлений. Далее Н. П. Верховский затрагивает по сути весь комплекс вопросов, относящихся к управлению персоналом и социальной политике. В перечне рассмотренных им вопросов – организация системы железнодорожного образования, деятельность училищ и институтов, забота о детях железнодорожников, здравоохранение и многие другие аспекты.

Ключевые слова: история, российские железные дороги, образование, управление персоналом, училища, институты, детская и молодёжная политика, социальная политика на железных дорогах, карьера, компетенции.

Стенографический отчёт по докладу Н. П. Верховского и беседе в VIII Отделе И. Р. Технического Общества 2-го декабря 1910 года, под председательством А. Н. Горчакова.

Председатель. – Милостивые государи! Программа доклада Николая Петровича помещена в повестке. Как вы видите, она очень обширна, по крайней мере, по числу строчек, которые она занимает.

Программа доклада Н. П. Верховского. Возникновение идеи о составлении книги «Железнодорожная неразбериха».

Содержание книги

А. О личном составе:

1. Крайне осторожный и строго обдуманый выбор новых начальников дорог и управляющих.
2. Подготовка инженеров к занятию поста будущего начальника и управляющего дороги, серьёзнейшего и труднейшего.
3. Подготовка всего личного состава к железнодорожной деятельности посредством следующей организации:
 - а) Низших образовательных школ и училищ.

Для цитирования: О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха» // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 103–116. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-12>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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

- б) Средних специально-технических школ.
- в) Вечерних курсов.
- г) Лекций.
- д) Обществ содействия учащимся детям.
- е) Общежитий для учащихся детей.
- ж) Потешных полков.
- з) Библиотек, читален.
- и) Вестников железных дорог.
- к) Гимнастических и спортивных обществ.

л) Железнодорожных обществ трезвости.

м) Установления ценза для службы инженеров путей сообщения и других служащих.

Б. Об упорядочении быта служащих – введение следующих мероприятий:

- 1. Устройство церквей.
- 2. Организация курортов.
- 3. Улучшение жилых помещений и служб к ним.
- 4. Содействие железнодорожному строительству служащих.
- 5. Правильное распределение земельных угодий.
- 6. Организация разумных нравственных увеселений.
- 7. Организация кредитных учреждений.
- 8. Разработка вопроса о женском труде.
- 9. Разработка вопроса о вознаграждении и премировке работы служащих, их наградных и постепенных прибавок к жалованию и о правильной регламентации труда и отдыха.

- 10. Изменения правил об отпусках.
- 11. Переделка устава пенсионной кассы.
- 12. Усиленное распространение страхования.

13. Организация судов чести и товарищеских.

В. Об организации управления железнодорожным делом:

- 1. Организация железнодорожных округов.
- 2. Организация местных советов управления в прежнем составе с большими правами и ответственностью.
- 3. Организация министерских ревизий дорог.
- 4. Организация съездов старших служащих.
- 5. Установление доминирующего положения службы движения.

- 6. Реорганизация службы сборов.
- 7. Реорганизация отчётности по счетоводству.
- 8. Увеличение юридических отделов.
- 9. Увеличение персонала врачебной службы и его обеспечения большими материальными средствами.

10. Изменение программы деятельности коммерческих отделов.

Г. О мероприятиях по общим вопросам:

1. Ослабление антагонизма между служащими.

2. Урегулирование бесплатного проезда и пользования служебными и протекционными вагонами.

3. Борьба с бесбилетным проездом.

4. Уменьшение переписки.

5. Борьба с засильем инородцев.

6. Борьба с хищениями.

7. Реформа сдачи в аренду станционных буфетов.

Д. О технических оборудовании железных дорог:

1. Постепенная систематическая перекладка станционных путей сообразно функциям станции.

2. Постепенная планомерная перестройка пакгаузов и платформ нагрузки и выгрузки грузов и изменением типов.

3. Организация крупного и мелкого ремонта подвижного состава на более рациональных для службы тяги и движения основаниях.

4. Постепенное планомерное распределение разнотипных паровозов по дорогам и уничтожение типов паровозов и вагонов, несоответствующих современной технике.

5. Постройка в необходимом количестве парка специальных вагонов-рефрижераторов для перевозки на дальние расстояния скоропортящихся грузов.

Е. О внутренней организации хозяйства служб:

1. Выработка и узаконение планомерной системы смены шпал и рельсов и коэффициентов стоимости ремонта верхнего полотна железных дорог и числа рабочих на версту участка.

2. Выработка специальных правил для ремонта инвентаря службы движения.

3. Выработка специальных правил учёта брезентов, щитов, скотских решёток, во избежание потерь их по дорогам, а равно и правил их содержания и ремонта.

4. Выработка специальных правил пломбирования вагонов.

Докладчик – Милостивые Государи! Председатель VIII Отдела И. Р. Т. О. просил меня доложить основные положения, взятые мною по содержанию моей книги. Я охотно взялся за это, желая обменяться с почтенным собранием мнениями по разным вопросам, возбуждёнными мной. Я, конечно, не могу доложить вам всей своей книги. Я по возможности сократил...

Прежде всего я должен разъяснить, почему у меня возникла идея о составлении такой книги.

Возникновение идеи о составлении книги. Постоянное неудовольствие на железной дороге публики, населения, экономических, промышленных и торговых организаций, и финансовых сфер, выражаемое в печати, а также и постоянные нарекания железнодорожных служащих на неудовлетворённость их по отношению правового, нравственного и материального их существования, и появление в печати книги не-техника, дали лишь повод высказать свои мысли, навеянные долголетним практическим опытом, – мысли разносторонние, освещающие острые железнодорожные вопросы.

Мной руководила исключительно утилитарная сторона дела, в интересах железных дорог, на которых я родился, вырос и служил 39 лет. Как продукт железнодорожной сферы, я пережил всё то, о чём написал, и как не одобрявший деятельности многих начальствующих лиц, с которыми мне приходилось служить, я не мог пассивно относиться к нему. Этим объясняется некоторая резкость, допущенная в оценке конкретных фактов, указанных мной. Сроднившись с железнодорожным делом и душевно скорбя о его дефектах, я старался указать на те мероприятия, которые, по моему мнению, могут способствовать его упорядочению.

Не претендуя на непогрешимость, я высказал свои взгляды на дело, как они сложились во мне во время моей продолжительной службы. Я не старался быть объективным, так как приводил массу конкретных фактов из собственной практики.

Доложить почтенному собранию всё, что написано в моей книге на 15 печатных листах, в короткое время, предоставленное мне, невозможно, поэтому я ограничусь кратким

изложением только наиболее важных отделов.

Наибольшее значение в планомерном систематичном улучшении железнодорожного дела я придал личному составу как разумному механизму, двигающему всё дело. С него и начну свой доклад.

Личный состав

Неподготовленность инженеров к занятию должности начальника дороги. Выбор, назначение и подготовка инженеров к деятельности начальника дороги. Главнейший импульс, активная энергия всего дела на железнодорожных линиях – это глава фирмы – начальник дороги и управляющий дорогой. Он носитель объединяющего и руководящего начала, которое должно направлять всю работу железной дороги к возможно успешному достижению всей совокупности возложенных на неё задач.

Удовлетворение потребностей государства, промышленности и торговли, культурным и экономическим интересам населения и администрирование промышленного предприятия с многомиллионными оборотами, – задача крайне важная, серьёзная и ответственная. Рассмотрим, насколько начальники дорог при настоящей постановке дела могут быть подготовлены к успешному выполнению таких разносторонних, обширных и кардинальных обязанностей.

Изучение специальной техники железнодорожного дела в Институте путей сообщения, и вся последующая деятельность инженера как по постройке дорог, так и по эксплуатации их в службе пути, подготавливает его только к приобретению опытности в знании в сфере инженерной техники.

Начальнику службы пути, которых обыкновенно назначают начальником и управляющим дорогами, нет возможности не только изучить, но даже и ознакомиться поверхностно с эксплуатацией дороги в функциях, входящих в область технического движения, экономических и торговых сфер. Он настолько занят собственным делом, касающимся ремонта пути и зданий, и проектами новых работ и их исполнением, что ему нет возможности ознакомиться с задачами дороги по удовлетворению государственных потребностей, промышленности и торговли, культурных и экономических интересов населения и района местности, по



которой пролегает эксплуатируемая железная дорога.

Начальнику дороги вменяют в обязанность быть «прежде всего хорошим хозяином порученного ему дела», но как же можно быть хорошим хозяином в деле, главные функции которого, эксплуатационная сторона дела и все связанные или вытекающие из неё вопросы технического и коммерческого движения, для него совершенно незнакомы?

Финансовый успех каждой железной дороги, как коммерческого предприятия, зависит главным образом от правильности движения поездов и утилизации подвижного состава, т.е. именно той части дела, в которой начальник дороги, вышедший из службы пути, наименее компетентен. Эта отрасль эксплуатационного дела, требующая наиболее знаний и опытности, ему, как не проходившему школы в службе движения, совершенно неизвестна.

Утилизация подвижного состава – такой трудный элемент железнодорожного дела, с которым не всегда справляется и специалист, начальник движения, какие же директивы может дать ему неопытный начальник дороги?

Правильность движения поездов и правильность оборота паровозов и вагонов зависят, конечно, от распорядительности службы движения, но при непременном условии оказания ей необходимого содействия со стороны других служб, особенно службы тяги. В последнем случае сталкиваются интересы двух служб.

Для решения споров и взаимного несогласия служб нужна авторитетность арбитра в образе начальника дороги. Если же начальник дороги профан в этом деле, то какой же он третейский судья?

При таких условиях службе движения крайне трудно правильно и хозяйственно вести дело, а при постоянном отсутствии поддержки начальника дороги – совершенно невозможно.

Начальник дороги должен руководить всем делом, давать свои директивы и проявлять собственную инициативу в улучшении порядков администрирования линией и условий дороги, часто меняющихся, согласно требованиям торговли и промышленности. Лицо, не компетентное в деле эксплуатации, а равно не знакомое с экономическим положением края, не может выполнять такую

программу. Верность такого заключения подтверждается дефицитностью дорог.

Каково положение опытного начальника движения, когда ему приходится иметь дело с начальником дорог, не имеющим самых элементарных понятий о службе движения, составляющей альфу и омегу железнодорожного дела.

Как это ни странно, но неопытные начальники дорог обыкновенно не могут иметь дело с опытными и знающими дело и службу начальниками движения, и они стремятся к назначению таких молодых начальников движения, которые сами, не имея опыта и знаний, не расхолаживали бы абсурдных требований своего начальства.

Знающий дело и опытный подчинённый всегда стесняет неопытного и неразвитого начальника, т.к. на всякое неприемлемое предложение последнего первый всегда найдёт массу авторитетных возражений, продиктованных опытом прежних лет.

Привести дорогу в состояние правильной организации, порядка и доходности, очевидно, не по плечу начальникам дорог, несведущим в деле эксплуатации дорог.

Совсем иначе ведётся дело начальником дороги, который ранее служил начальником службы движения, но, к сожалению, таких начальников дорог можно насчитать не более двух-трёх, и дороги, ими управляемые, конечно, не находятся в числе дефицитных.

Служба тяги, как исключительно специальная с узкими горизонтами, тоже не может дать достаточной подготовки к занятию должности начальника дороги.

Из сказанного мной вытекает настоятельная необходимость организации полной подготовки инженеров к занятию ими должности начальника дорог. Это мне кажется возможно сделать следующими мероприятиями. Инженера, отличающегося талантами, любовью к делу, энергией и трудоспособностью, ещё в молодых годах следует проводить по трём главным службам: пути, движения и тяги, назначая его на ответственные старшие линейные должности, по основательному изучению которых, назначать его начальником службы на четыре-пять лет, в каждую из этих главных служб. После такого искуса ему следует прослужить два-три года помощником начальника дороги, для ознакомления со всеми осталь-

ными службами и отделами, особенно с коммерческим отделом.

Пройдя такую школу и приобретя практически ценз начальника дороги, инженер получит вполне универсальные знания функций всех служб, приобретёт большую опытность и уже в качестве начальника дороги будет во всеоружии всех серьёзных требований, предъявляемых к лицу, занимающему такой важный пост. Только при таких условиях возможно вывести дороги из их хаотического состояния и сделать их доходными.

Ещё одно из главных качеств, необходимых для лица, назначаемого начальником дороги, это твёрдость характера. Она служит базой направления всего местного мира.

Слабость характера очень крупный и, можно сказать, недопустимый дефект в лице, занимающий такой ответственный пост.

По серьёзности и ответственности дела начальник дороги вряд ли не выше корпусного командира, или командира большой флотской эскадры, однако не назначают же этих командиров из лиц, не прошедших установленных цензом всех подготовительных к таким постам должностей, несмотря даже на протекцию тётушек, дяденек и всяких родичей. В Германии установлены экзамены на каждую железнодорожную должность, почему же нам не ввести указанный мною искус.

До приведения его в исполнение необходимо назначать начальников дорог из помощников, выдающихся своим знанием и опытностью. Но при этом следует назначать на должность помощников начальников дорог не людей, потерявших уже трудоспособность, как это часто делается теперь, а напротив – выдающихся своею деятельностью и энергией начальников служб, преимущественно из службы движения, и, таким образом, готовить их к занятию такого серьёзного поста, как пост начальника дороги.

В последнее время, т.е. в 1909 году, состоялось два назначения начальников дорог, на казённую и частную дорогу, и оба назначения пали на бывших начальников движения инженеров Энмана и Борисова. Это очень отрадное явление в современной железнодорожной жизни, имеющее особо важное значение. Из него можно усмотреть, что управление железных дорог и правления

частных дорог, под влиянием, очевидно, веханий нового министерства, становятся на правильный путь назначений руководителей дела, из числа специалистов по службе движения, как самой главной службы, от которой зависит успешность технического движения дороги. Прискорбно будет если в последующих назначениях этот принцип не будет применяем.

Собственно говоря, совершенно не выяснен тот принцип, в силу которого у нас, как бы преемственно, на основании давнишних прецедентов, принято предполагать, что начальником или управляющим дорогой должен быть инженер путей сообщения.

Наши лучшие управляющие, во Время Оно, как И. Е. Адауров, С. Ю. Витте, талантливо создавшие новое тогда железнодорожное дело, были не путейцы.

В Англии управляющие дорогами все исключительно практики, выработавшиеся прохождением службы на разных отраслях дела, преимущественно технического движения и коммерческих железнодорожных операций и выдвинувшиеся своей полезной и талантливой деятельностью. Они не специалисты строительной и механической техники, но люди таланта, ума и смётки, в руках которых дороги вырастали в доходные предприятия. Они сами непосредственно заведуют передвижением поездов и грузов, не имея особых начальников движения. Последней должности на английских дорогах нет вовсе, есть только помощники управляющих, работающие по их указаниям.

Для ведения технического дела постройки, ремонта зданий, пути, заведывания паровозами, вагонами и мастерскими в Англии имеются инженеры-специалисты, которые не выступают в роли управляющих дорог, как неподготовленные к такой деятельности.

Я далёк от мысли препятствовать путейцам занимать должности начальников и управляющих дорог, но я заявляю только о необходимости, в интересах дела, серьёзной практической подготовки их к этой трудной обязанности, способом, указанным мною выше. Я настаиваю на необходимости держаться мудрого английского принципа, прекрасно выраженного в изречении: «the right man on the right place» т.е. подходящий человек на надлежащем месте.

В институтах инженеров путей сообщения следовало бы открыть дополнительные



курсы эксплуатации железных дорог, более подробные, чем читаются в настоящее время, а также курсы статистики, счетоводства и товароведения для лиц, имеющих в виду посвятить себя эксплуатационной службе на железных дорогах. Кандидатам на посты управляющих и начальников дорог следует развивать в себе коммерческую смётку, необходимую для главарей крупного коммерческого дела.

Талантливый начальник дороги берёт на себя непосредственно директиву всего дела, в которой проявляет свою личную инициативу: он становится авторитетным арбитром при недоразумениях между начальниками служб и отделов, сводя и согласуя их между собой в совместных делах и кооперируя их деятельность. Он оставляет за собой только дела особой важности. Остальное поручает своим помощникам, правителю дел и инженеру особых поручений, которым вменяет в обязанность постоянно держать его в курсе всего, совершающегося на дороге, докладывать обо всём сделанном, имеющем серьёзное значение, и в затруднительных и более или менее важных случаях советоваться с ним и получать его указания и распоряжения.

Умение импонировать всем, освещать дело и согревать своим импульсом всех служащих, — это требует большого таланта, и в нём-то и есть весь секрет успеха работы дороги. Только тот начальник, который по уму, талантам и знанию дела стоит головой выше своих подчинённых, может импонировать им, кооперировать их труд и служить настоящим камертоном своего оркестра.

Стройность хора в железнодорожном деле приводит к порядку и доходу, — диссонансы к беспорядку и дефициту.

Талантливое распределение труда между своими непосредственными сотрудниками предоставляет начальнику дороги достаточно свободного времени для поездок по линии не только в обязательные весенние и осенние осмотры, но и во всякое другое время, когда личное присутствие на линии главы фирмы делает это необходимыми. Чтобы не возвращаться более к начальникам дорог, я коснусь вопроса о вознаграждении их; мне кажется, их оклады не могут считаться преувеличенными, в сравнении с тем вознаграждением, которое получают представители частных больших коммерческих фирм. Понижение

окладов вызовет только невозможность привлечь к занятию этих должностей людей способных и талантливых, которые своим энергичным и разумным трудом могут развить движение грузов на дороге и доставить ей возможность сделаться доходной. Плохой начальник, конечно, не заслуживает большого оклада, но такого нельзя ставить во главе дела, так как он вреден для дела независимо от получаемого оклада.

Необходимо принять во внимание, что деятельность начальника дороги не определяется часами, назначенными для занятий; она не прерывается ни днём, ни ночью, ни в будни, ни в праздники. Он ежеминутно должен быть во всеоружии неотложных распоряжений. Как не прерывается движение поездов на дорогах, так и деятельность начальника дороги непрерывна. Такое состояние чего-нибудь стоит нервам организма и в вопросе о вознаграждении должно, по всем справедливостям, — учитываться в пользу начальников дорог.

Самое правильное было бы часть оклада выдавать в зависимости от доходности дороги, но выработать общий, универсальный коэффициент такого вознаграждения почти невозможно, вследствие разности работы каждой отдельной дороги. Пришлось бы выработать коэффициент для каждой дороги отдельно, что представляет значительные трудности.

Во всяком случае, один из элементов дополнительного вознаграждения, предлагаемого «Не-техником», в зависимости от производства новых работ, я считаю неприемлемым. Начальники дорог и так больше всего заняты технической строительной частью, несмотря на то, что на дороге имеется специалист — начальник пути с технической конторой, и материальный интерес начальника дороги в сбережениях по новым постройкам ещё активнее заинтересует его этой частью дела, в прямой ущерб другим, более важным коммерческим отраслям службы.

Коэффициент премировки начальника дороги должен выработаться только в зависимости от чистой прибыли перевозок, от успешности оборота подвижного состава и от производительности его работы.

Расчёт коэффициента требует такой тонкости определения функции дороги, что, вероятно, он никогда, или, по крайней мере,

очень продолжительное время применён не будет.

Результаты финансовой деятельности дороги находятся в настоящее время в полной зависимости от тарифных ставок, от массы обязательных неоплачиваемых перевозок почтового ведомства, тюремного управления, слабо оплачиваемых воинских и переселенческих государственных перевозок, массы требований, предъявляемых к дорогам Управлением железных дорог и Министерством путей сообщения, ввиду регламентации дела, и по Высочайшим проездам, а также военным ведомством, в интересах чрезвычайной важности — обороны государства.

Все эти перевозки и требования, превосходя обыкновенно размеры сметных предположений и ассигнований, вызывают непредвиденные расходы, недоступные учёту себестоимости дороги; они имеют, несомненно, серьёзное влияние на доходность дороги и тем самым представляют факторы, вносящие трудноучитываемые элементы и даже часто полный сумбур в расчётах премировки, основании которой должны служить чисто математические величины, вполне осязаемые и доступные учёту.

Остаётся только применить к начальнику дороги способ дополнительного вознаграждения крупными наградами за успешность результатов эксплуатации дороги так, как это делается правлениями частных дорог. При такой системе, конечно, необходимо уменьшить размеры сметного жалования до такого минимума, при котором оно, вместе с наградами, было бы эквивалентно настоящим окладам начальников дорог.

В идею премировки должно входить не стремление уменьшить заработок начальника дороги, а только стремление приурочить к более справедливой оплате утилитарности трудов.

Подготовка личного состава. — Перейду к вопросу, составляющему одну из самых трудных задач ведомства, а именно к подготовке личного состава к разумному исполнению своих обязанностей, гарантирующему, до возможного максимума, безопасность движения пассажиров, целость и успешность перевозки грузов.

Нигде, ни в каком другом предприятии, успешность дела не находится в такой частичной зависимости от индивидуальных

качеств, свойств, знаний, опытности, доброй и злой воли каждого отдельного служащего, от мала до велика. Несмотря на особую важность такой постановки дела, от которой зависит жизнь и имущество граждан на железных дорогах, к стыду нашему, в этом отношении сделано ещё очень мало.

Рассмотрим все учреждения, организованные на железных дорогах для личного состава в отношении подготовки его к железнодорожной деятельности и обеспечения его умственного, нравственного, семейного, гигиенического и материального существования.

Посмотрим, нельзя ли поставить условия существования железнодорожного персонала в такое положение, при котором люди шли бы на службу железных дорог с запасом знания, воспитанием, шли бы не потому, что больше некуда деваться, но для приложения своих познаний, сил и энергии к делу такой корпорации, служба в которой предоставляла бы некоторые привилегии достойным агентам и попасть в которую невозможно первому встречному.

Образовательные учреждения, низшие школы и училища. — Более полувека существуют железные дороги, но до сих пор ничего ещё существенного, систематически определённого в подготовке личного состава не сделано.

Переустройство железных дорог надо начать с устройства быта личного персонала. Нужно поднять его низкий культурный уровень и установить правовую и бытовую обеспеченность.

Есть попытки нескольких отдельных дорог к устройству различных образовательных учреждений, общей программы ещё не успели выработать, хотя на совещательных съездах начальников движения не раз возбуждались об этом вопросы, читались разработанные доклады и проекты мероприятий.

Пока только одна Юго-Западная дорога богаче других школами, дающими некоторое образование детям служащих и подготовку самим служащим, но и они ещё далеки от систематичной, школьной, специальной подготовки служащих к различным специальным отраслям и занятиям.

В образовательном вопросе надо различать две категории учреждений, имеющих между собой весьма отдалённую связь — это низшие образовательные школы для малолет-



них и средние – специально-подготовительные для взрослых.

Первые дают общее, низшее образование, необходимое всякому ребёнку, на каком бы поприще он ни подвизался в будущем. К железнодорожному делу эти школы имеют только то отношение, что они содержатся на кредиты железных дорог и обучают детей железнодорожных служащих. Они обучают только грамоте, молитвам и первым правилам арифметики.

Это обучение производится в школьном возрасте, который не может утилизироваться железными дорогами для несения какого-либо практического труда. Оно составляет только основу и импульс к дальнейшему образованию для учеников и учениц, имеющих средства и способности к усовершенствованию.

Категория последних представляет единичное явление, обыкновенно же железнодорожные мальчики, получившие образование в низших железнодорожных школах, рассеиваются по разным поприщам технической, экономической и общественной жизни, как аппликанты, подготавливаемые к будущей самостоятельной жизни, чтобы гарантировать собственное содержание и своей будущей семье или престарелых родителей.

Некоторые из них, конечно, возвращаются на железные дороги по достижении ими юности или совершеннолетия и пристраиваются своими родителями или родными на разные должности, как телеграф, всевозможные конторы и линейные должности метчиков, пломбировщиков, весовщиков, кондукторов, ремонтных рабочих и т. п. Обученные мастерству идут в железнодорожные ремонтные и тяговые мастерские.

Средние специальные школы. – Вторая категория школ – это средние специальные, подготовительные, а из таких имеются только технические железнодорожные училища. Эти образовательные учреждения непосредственно готовят молодых людей к железнодорожной деятельности, в качестве дорожных мастеров и, главным образом, машинистов. Строго говоря, только эти училища и могут считаться, как учреждения, подготавливающие молодёжь к железнодорожной деятельности. Но, к сожалению, таких училищ немного, не более одного-двух на дорогу, а на новых дорогах их и вовсе нет,

почему и контингент подготовленных лиц весьма незначителен. В настоящее время имеется 41 училище.

Есть ещё особый род подготовительных учреждений – это вечерние курсы. Но и они весьма мало распространены, и то только на некоторых старых дорогах.

На управлении железных дорог лежит особая задача, по своей серьёзности составляющая альфу и омегу всего железнодорожного дела – это именно выработка систематической планомерной организации училищ, школ и курсов, настолько распространённых, чтобы ни одна железнодорожная должность, носящая какой-либо технический характер, в универсальном значении этого слова, не была замещена никем иным, как только лицом, подготовленным специально к занятию ею.

Только такие подготовительные образовательные учреждения могут выработать технически подготовленный кадр личного состава младших служащих, могущий представить гаранта правильного и сознательного исполнения своих обязанностей.

Следует ввести в правило к неуклонному исполнению, чтобы ни одна специальная должность на дорогах не была замещаемая иначе как по представлению удостоверения об обучении и выдержанию испытания в соответствующей специальной школе.

В настоящее время на должности, связанные с техническим движением поездов, не принимаются лица, не имеющие удостоверения о выдержании экзамена, и, даже, все такие лица, вновь поступающие на дороги, подвергаются испытанию в экзаменационных комиссиях, организованных при конторах движения, или отделениях службы движения. Пассажиры могут быть уверены в том, что служащие, от которых зависит безопасность отправления поездов на перегоны и распоряжения передвижения их по станционным путям действительно специально знакомы со своим делом. Служебные ошибки их возможны только по невниманию к исполнению служебных обязанностей, а не по незнакомству с ними и с установленными правилами. В этом отношении дороги представляют пассажирам реальную гарантию.

Но безопасность следования поезда на перегонах находится в непосредственной зависимости от правильного, тщательного и умелого осмотра всех ходовых частей ва-

гонов, смазки букс, от правильного содержания стрелок и путей, почему все младшие служащие, на обязанности которых лежит выполнение указанных функций, как осмотрщики, смазчики, стрелочники, ремонтные рабочие и старшие рабочие, должны быть обучены своей специальности и экзаменованы.

Но нельзя успокаиваться организацией экзаменационных комиссий, т.е. проверкой приобретённых знаний; надо ещё предоставить служащим и посторонним лицам облегчённые способы к изучению железнодорожного дела в специальных школах, училищах, т.е. к приобретению этих знаний.

В них особенно нуждается контингент людей, подготовляющих себя к технической деятельности по движению поездов. Практически к этой деятельности подготовляются обыкновенно телеграфисты и то только путём долгого присматривания на станциях к делу технического движения между своим делом. На многих дорогах по станциям рассылаются различные руководства и катехизисы, служащие пособиями к изучению правил, установленных на дорогах. Таковую рассылку следует возвести в систему, сделать обязательной, чтоб служащие каждой станции имели под руками средства для справок и самообучения.

Практическое изучение и подготовка по руководствам и катехизисам только и дают возможность выдержать экзамен на права дежурства по движению. Но этого совершенно недостаточно, необходимы школы и систематические курсы.

Не будет систематичной планомерной подготовки служащих, не будет и подходящих людей и вследствие этого порядка и правильности хода всего дела.

В столицах имеются частные железнодорожные курсы, но они, к сожалению, готовят специалистов не столько железнодорожного дела, сколько коммерческого.

В Петербурге, при Императорском русском техническом обществе, имеются специально железнодорожные курсы. Но всё это капля в море, сравнительно с действительной потребностью в подготовке кадров железнодорожных техников.

Железные дороги взяли на себя добровольную обязанность заботиться об образовании молодого железнодорожного поколения младших служащих.

Обязанность вполне почётная, но, к сожалению, кредиты, отпускаемые на образование, почти всегда, на всех дорогах, недостаточны, вследствие чего дети не всех железнодорожных служащих, не имеющих средств пользоваться городскими школами и казёнными учебными заведениями могут обучаться в них. При этом особенно страдают дети служащих, живущих на малых станциях, не имеющих школ.

Действительно, все железнодорожные школы, устроены на больших станциях, где имеется значительный контингент служащих.

Единственная возможность детям служащих на промежуточных малых станциях получить начальное образование в таких школах – это поселять их на больших станциях в чужих семьях. Но это сопряжено с существенными расходами, которые могут себе позволить только немногие из служащих, самые младшие как рабочие, сторожа, стрелочники и другие, получающие небольшое жалование, вынуждены отказаться от этого и оставить своих детей – неграмотными.

Конечно, случайно, иногда находятся на станции служащие, а чаще их жёны, которые берут на себя за малое вознаграждение обучать таких детей грамоте, но это явление довольно редкое.

Хотя организация школ для первоначального обучения детей служащих не приносит непосредственной выгоды для железных дорог, но тем не менее этого рода мероприятия крайне необходимы, чтобы вызвать в служащих интерес в посвящении себя служению железным дорогам и привязать их к ним.

В этом отношении дороги должны сделать всё возможное, чтобы льготы по обучению детей имели характер привлечения служащих и вызывали сознательную благодарность дорогам за заботы о детях.

Обучение должно быть бесплатное, с выдачей книг, тетрадей, карандашей, перьев и т.п. школьных пособий натурой.

Циркуляр Управления железных дорог от 13 января 1909 года за № 765, установивший норму платы за обучение детей, должен быть отменён.

Несвоевременно вводить плату за право обучения, когда вся Россия стремится к организации обязательного и бесплатного для всех обучения грамоте.



Но железные дороги должны идти далее, чтобы предоставить всем детям служащих возможность первоначального обучения. «Stand still is to go back» – говорят англичане, т. е. стоять на месте – значит идти назад. В деле образования надо много и долго трудиться, чтобы достигнуть правильной его организации.

На больших станциях, имеющих школы, необходимо устраивать общежития для помещения детей, живущих вне этих станций. На некоторых дорогах имеются такие общежития, основанные на средствах служащих, но они весьма редки, и существование их далеко не обеспечено.

Общежития должны находиться в ведении учебного персонала дороги, т. е. комитета образовательных учреждений. За жизнь и надзор за детьми должна взыскиваться самая минимальная плата, если нельзя делать это безвозмездно.

Вообще, все удобства и льготы, предоставленные детям со стороны дороги, должны иметь громадное нравственное влияние на служащих и, конечно, будут учтены ими и приняты в соображение посторонними при выборе занятий и службы.

Это одна из главных задач подготовки кадров достойных и надёжных служащих, и на неё необходимо обратить особое внимание.

Между тем из отчётных данных мы видим, что железными дорогами, в воспитательном отношении детей служащих, сделано ещё очень немного, и железнодорожное население совершенно не обеспечено начальным обучением.

К 1 января 1907 года детей школьного возраста на всех железных дорогах было 322 825 человек, из которых обучалось всего 75 035 человек, и, следовательно, оставалось вне школьного образования 247 790, т. е. более 75 % всего детского населения.

Что касается числа железнодорожных школ по сравнению с протяжением железных дорог, то на 127–128 вёрст приходится только одна школа, – так мало ещё их число. В этом отношении Ведомству путей сообщения надо сделать ещё очень много, чтобы заставить служащих серьёзно считаться с образовательными железнодорожными льготами, предоставленными им дорогами.

Собственно говоря, возможность получать первоначальное обучение железнодо-

рожным детям нельзя назвать льготой, это должно входить в обязанность железных дорог, так как при сравнительной редкости населения в России вообще и разбросанности станций на всём протяжении колоссальной территории страны, никакое другое ведомство не может взять на себя заботу об образовании детей служащих на дорогах. Много труда и денег надо вложить ещё государственной казне, чтобы привести этот вопрос в нормальное состояние.

Что касается качества низших школ, то практика выяснила, что нужны школы двухклассные с двухлетним учением, дающим более основательное законченное начальное образование.

В этих школах необходимо организовать питание детей завтраками.

Программы наших технических железнодорожных училищ также необходимо пересмотреть. В них есть что-то неладное. Они, как и все наши русские образовательные учреждения, страдают обширностью теоретических сведений и сравнительной ничтожностью практических занятий.

При технических железнодорожных училищах необходимо улучшить условия общежития для тех учеников, которые съезжаются издалека, а таких наибольший процент. Жизненные условия их часто крайне тяжёлые, мешающие правильному ходу занятий в училищах.

Для правильной постановки воспитательного дела необходима широкая организация обществ содействия учащимся детям.

Физические упражнения. – Образование юношества и детей в железнодорожных школах и училищах будет неполно, если не ввести в них гимнастические упражнения, маршировку и игры. Давая детям служащих умственное воспитание, необходимо позаботиться и о развитии их физических сил и о правильном росте организма, чтобы подготовить вполне здоровую дисциплинированную молодёжь, способную выносить все невзгоды будущей жизни и быть достойными гражданами своего Отечества, готовыми как к трудной железнодорожной деятельности, так и к несению воинской повинности для защиты своего отечества.

Ничто не приучает так к порядку, выдержке и дисциплине, как обучение военному строю. Им-то и нужно занять детей, посвятив на него не менее часа ежедневно.

Я бы обучал маршировке и девочек. Маршировка с гигиенической точки зрения научает правильно ходить, бегать, дышать и держать свой торс. Это одинаково полезно и необходимо как мужчине, так и женщине.

Для железных дорог нужна здоровая молодёжь, а ей, в свою очередь, здоровые жёны и матери их будущих детей, тоже железнодорожников.

Военным упражнениям дети учатся очень легко и с большим удовольствием предаются им. Это полезная наука и развлечение между классными уроками. Энергия, возбуждённая в молодых организмах планомерными телодвижениями, будет с пользой обращена на умственные занятия и последние пойдут успешнее. Недаром древняя культура пропагандировала «*Mens Sana in corpore sano*».

Чтобы выполнить цельность программы железнодорожного воспитания, оно должно быть национально-нравственное и гигиенически-физическое.

На мой взгляд, милитаризация железнодорожной школы – это панацея всей разрухи, внедрившейся в железнодорожные сферы, и самое радикальное лечение её должно быть начато с молодых побегов, доступных лёгкому восприятию и усвоению дисциплины и порядка.

Если против проекта милитаризации взрослых железнодорожников, выдвинутого генералом фон Вендрихом, была заявлена масса возражений, то против милитаризации молодёжи вряд ли можно возражать, не нарушая здравого смысла и благопожеланий для пользы дела. Все страны милитаризуют молодёжь в интересах правильного развития организма и будущей охраны государства. Нам отставать не следует.

Потешные полки Петра Великого положили начало русской непобедимой армии, создавшей колоссальное государство; школьные железнодорожные полки образуют будущий кадр железнодорожных служащих, которые окончательно водворят порядок и благоустройство дорог.

Глубоко плодотворная мысль о милитаризации школы подана в последнее время нашим Государем, железные дороги, как пионеры культуры и цивилизации, должны и в школьной отрасли идти впереди других ведомств и содействовать выполнению предначертаний, исходящих с престола, которые

так полезны для обеспечения будущего самих дорог и, в сущности, так легко исполнимы. Это должны сознавать начальники и управляющие дорогами и принять меры к скорейшему выполнению царского желания. Голос министра путей сообщения вызвал бы в этом вопросе усиленную деятельность всех дорог.

Некультурность – наша большая слабость, а чтобы приобрести культурность необходимо образование, образование и образование.

Орган, стоящий у кормила образования, Комитет образовательных учреждений должен энергически и неустанно работать, чтобы сделать всё возможное для железнодорожных школ как в количественном, так и в качественном отношениях.

Библиотеки и читальни. – Умственному и нравственному развитию служащих немало содействуют ещё железнодорожные библиотеки, читальни, помощь при выписке газет и журналов. Старшим служащим, а равно и управлению железных дорог необходимо приложить все старания для создания хороших постоянных и подвижных библиотек на всех железных дорогах, особенно на новых, которые наиболее нуждаются в кредитах для своего возникновения.

Точно так же необходимо проверять литературно технические работы старших служащих и помещаемые ими статьи в казённых журналах оплачивать гонораром как некоторым стимулом к работе.

Железнодорожный «Вестник». – Я нахожу чрезвычайно полезным для служащих не только читать специальные технические статьи по различным отраслям железнодорожного дела, но и писать их, помещая в специальных журналах и в своём «Вестнике», издание которого на каждой дороге, казённой и частной, следовало бы ввести в обычай. Прототипами таких «Вестников», могут служить «Вестники Юго-Западных и Закавказских дорог».

Таковыми «Вестниками» дороги должны взаимно обмениваться, чтобы заимствовать всё полезное друг от друга и быть в курсе дела других дорог.

Литературные и технические труды служащих дороги, помещённые в этих «Вестниках», должны оплачиваться построчной платой, чтобы привлечь побольше сил и возбудить охоту к исследованию железнодорож-



ных вопросов и письменному изложению наблюдений и исследований.

Устроенные здесь в Петербурге, по инициативе министра путей сообщения С. В. Рухлова, вечерние лекции в актовом зале Института инженеров путей сообщения крайне полезны и поучительны не только для студентов института, но и для железнодорожных служащих и для публики.

Железнодорожные общества трезвости. – Для того чтобы отвлечь молодёжь от дурных и вредных страстей и укрепить их организм, необходимо при управлениях организовывать гимнастические и спортивные клубы. Лёгкая атлетика, шведская и военная гимнастика, маршировка, стрельба, катание на лодках, коньках, беганье на лыжах, езда верхом и на велосипедах, игра в теннис, в кегли – вот занятия, которые поддерживали бы здоровье и бодрость духа служащих и вместе с тем соединяли бы их между собой и развивали бы корпоративную солидарность, уничтожая вредный для дела и для них самих антагонизм, который, к сожалению, внедряется в железнодорожную жизнь.

Вводя слушателя в детали быта железнодорожных служащих, я не могу умолчать об одном очень прискорбном дефекте, проникнувшем в нравы и жизнь железнодорожников и составляющих, некоторым образом, плот от плоти самого общества и всего населения. Дефект этот – алкоголизм.

К сожалению, в последнее время это громадное зло делает особенно сильные успехи везде, в том числе и на железных дорогах.

Интерес безопасности пассажиров и служащих требует, чтобы служащие таких исполнительных служб, как движение и тяга, были люди вполне здоровые, с острым зрением и слухом и всегда владеющие своим полным разумом. Алкоголизм лишает их всего этого.

Масса исследований всевозможных случаев на дорогах выясняет ненормальное состояние служащего, виновного в происшествии. Ненормальность эта возникает исключительно на почве влияния винных паров.

Безошибочно можно сказать, что абсолютных трезвенников на железных дорогах ничтожное меньшинство. Много служащих, пьющих систематично по одной, двум рюм-

кам водки перед обедом и завтраком. Это самое правильное, если уже нельзя вовсе отказаться от алкоголя, и почти безвредно для организма и службы, а в северных широтах даже может быть и полезно. Много служащих пьют неумеренно, но, по крайней мере, своевременно, вне службы; многие страдают запоем, но, что всего хуже и опаснее, это безнадежные алкоголики, которые вечно находятся в полпьяна. Они самые опасные субъекты, которые, приходя на службу, по видимому в нормальном стоянии скоро пьянеют от выпитой чарки, принесённой с собою, и, оставаясь на службе незамеченные старшими, причиняют своими бессознательными действиями массу неправильностей, которые часто, при неблагоприятном стечении обстоятельств становятся роковыми.

Практика обнаруживает возникновение несчастных случаев от упущений, одновременно сделанных несколькими служащими разных служб; если же хотя бы один из служащих окажется исполнительным, то несчастие предупреждается. Возьму конкретный пример. Стрелочник, несмотря на проверку стрелки дежурным помощником, почти в виду поезда перевёл стрелку, поставив её ошибочно на путь, уже занятый поездом. Машинист невнимательно относящийся к службе, не обратил внимание на положение стрелки, и произошло столкновение поездов. Внимательный же машинист, исполнительный, заметит неправильное положение стрелки и своевременно примет меры к замедлению хода поезда, или его остановке, и несчастье предотвращено.

Ввиду такой постановки службы на железных дорогах, при которой действие одного служащего проверяется другими, несчастия происходят значительно реже, чем они могли бы происходить. Самые крупные случаи обыкновенно происходят при невнимательности целой серии лиц, и обратно – внимательность и трезвость одного парализует оплошности других.

Таким образом, зачастую здоровье и сама жизнь пассажиров и самих служащих, а также целость частного и казённого имущества, висит, так сказать, на волоске, от оплошности служащих, которая значительно усиливается под влиянием продукта монополии.

Трезвое поведение служащих на железных дорогах необходимое, чем где-либо,

и борьба с алкоголизмом должна составлять одну из главных забот начальствующих.

Медицина признаёт влечение к вину – болезнь. Запойные пьяницы, действительно, люди больные – их надо лечить. Тех же, у которых эта страсть не перешла ещё в болезнь, надо всеми мерами искусственно отвлекать от вина.

Между тем у нас на дорогах в этом отношении пока ещё никаких мер, ни врачебных, ни административных не принималось. Обществ трезвости у нас нет, и неслышно о возникновении их. Даже в печати неслышно голоса о мероприятиях по ослаблению и уничтожению алкоголизма среди железнодорожников. Увольнение от службы пьяниц вот пока единственная мера в борьбе с алкоголизмом. Но ведь алкоголик, уволенный с одной дороги, поступает на другую, продолжает неумеренное употребление спиртных напитков и служит до новой катастрофы. Увольнение от службы не исправляет и не излечивает больного, а только спихивает его со своих плеч на другие, не уничтожая его вредного влияния.

Сама жизнь и служба на дорогах слагается благогоприятно для развития алкоголизма, который особенно развит среди холостой молодёжи службы движения телеграфа. Дежурства сменяются сном, а сон дежурством. В короткие промежутки, от нечего делать, ищут приятных разговоров с товарищами, в которых сплетни играют первостепенную роль; перебивают косточки старших и выталкивают наружу всю грязь младших, а для успокоения взвинченных нервов за беседой разгуливает чарочка. После неё, конечно, споры, ссоры и часто скандал, а, в конце концов, неисполнительность по службе.

За рубежом давно сознали вред алкоголизма среди железнодорожников, и принимаются меры в борьбе с ним. Англия ещё в 1882 году взялась за этот вопрос и стала организовывать союзы и общества борьбы с пьянством. За ней последовала Норвегия – в 1892 году, далее Швеция в 1901 году, Германия, Швейцария и Финляндия – в 1902 году, Дания и Франция в 1903 году; Австрия – в 1906 году и, наконец, Голландия – в 1909 году.

В 1907 году в Стокгольме состоялся съезд трезвенников и организован «Международный союз трезвости железнодорож-

ных служащих». В 1909 году насчитывалось следующее количество членов этого союза: в Англии – 43 000, Швеции – 4 500, Франции – 3 200, Финляндии – 900, Швейцарии – 550, Дании – 500, Германии – 460, Норвегии – 450 и Австро-Венгрии – 125, а всего 53 685 членов.

У нас в России необходимо организовать общество трезвости железнодорожных служащих с отделениями на каждой не только казённой, но и частной дороге. По организации Комитета общества в Петербурге он должен примкнуть к международному союзу.

Я подал об этом записку министру путей сообщения и сделал клич в журнале «Пути Сообщения». Дай Бог, чтобы эта идея осуществилась в возможной скорости и развилось бы солидное общество, раскинувшееся по всей России для водворения трезвости среди всех железнодорожников.

Трезвость служащих есть залог порядка, а порядок – преддверие доходности. Будем стремиться к порядку и выведем дороги из дефицитного их состояния.

Установление служебного ценза для служащих. – В одной из своих талантливых статей М. О. Меншиков выразился так образно и подходяще к данному случаю, что я позволю себе цитировать его: «Для всякого дела, имеющего притязание быть выше посредственности, нужна глубокая заинтересованность; чем серьёзнее дело, тем необходимее, чтобы оно забавляло деятеля, увлекало его самим процессом действия».

Вот это то свойство крайне необходимо для железнодорожного дела, но его-то часто недостаёт в современных высших служащих. Раз избрание известной деятельности есть вопрос карьеры, – то оно ни забавлять, ни увлекать не может. Современный начальник очень часто есть человек двадцатого числа; тишь да гладь – вот его основной служебный принцип.

Конечно, бывают счастливые исключения, да и странно и чересчур безотрадно было бы, если бы их не было.

Я высказал здесь моё личное мнение, основанное на многих наблюдениях, но я не претендую на непогрешимость. Как человек, увлечённый делом железных дорог, я сердечно рад был бы ошибаться.

Удовлетворение религиозных потребностей. – Доложивши почтенному собранию



вопросы, обнимающие интересы личного состава, перейду к мероприятиям по удовлетворению религиозных потребностей линейных служащих. Только о нуждах последних и можно говорить. Весь служебный персонал, живущий в городах, не нуждается в заботах управления, к его услугам городские церкви и духовенство. Другое дело линия, и особенно в малонаселённых местах наших обширных окраин.

Устройство церквей. — На окраинных дорогах, проходящих в малонаселённых местностях, необходимо иметь вагоно-церкви, как временная мера для больших станций и как постоянная мера для малых станций. На больших же станциях нужно строить церкви. Если нет коренных ассигнований и средства служащих незначительны, то полагал бы возможным строить глинобитные или песчанобитные церкви.

На старых дорогах не редкость встретить на больших станциях прекрасные железнодорожные церкви, возникшие исключительно на добровольные приношения служащих. Старые дороги богаты персоналом личного состава, осевшего на местах уже с давних пор и, конечно, обладающего некоторыми сбережениями, частью которых безубыточно могут поделиться для благого дела. Всё зависит от инициатора. Явится таковой, — глядишь, через год-другой, и раздастся благовест, призывающий православных на молитву.

Железнодорожная среда — сила великая, надо только желать и уметь направлять её на благие дела. Путём самопомощи и единения можно создать много необходимых и полезных для души и тела учреждений. Где есть настоящий хозяин, там и работа кипит. Побольше их только!..

Врачебно-санитарная организация. — Управления и правления железных дорог всегда были мачехами для врачебно-санитарной стороны дела. Развитие и усовершенствование железнодорожного дела шло своим чередом, не касаясь медицинской части, находившейся всегда в загоне. Цифры расхода дорог всей сети по врачебно-санитарной части рельефно подтверждают это заключение.

В 1875 году расход на версту дороги составлял — 26 руб. 37 к., в 1887 году — 40 руб. 37 к., в 1901—79 руб., в 1907 г. — 126 руб. 26 к.

Кроме больниц, амбулаторий и приёмных покоев, необходимо заводить и железнодорожные собственные курорты для лечения лёгочных и ревматических болей, которыми главным образом страдают служащие.

Пособия, выдаваемые на лечение, в большинстве случаев не достигают цели. В моё время, на Привислинской ещё частной дороге управление поступало очень благоразумно, входя в соглашение с курортами о лечении служащих, за которых само вносило установленную плату.

В настоящее время некоторые дороги проходят по степям, в которых пасутся табуны лошадей и где вполне возможно организовать кумысо-лечебные заведения, а равно и вблизи соляных источников, в которых можно устроить железнодорожные купания.

Ташкентская дорога представляет большие удобства для устройства кумысо-лечебного заведения, общего для всех служащих железных дорог, а также и соляных купален при Илецких соляных коях.

Старшим врачом этой дороги г. Орловым уже выбрано соответствующее место для этих курортов, и он хлопочет о кредите. На 1909 и 1910 годы ассигновано по 2000 рублей. Но это слишком малая сумма, чтобы возможно было что-либо предпринять в этом направлении.

Я подал министру путей сообщения записку об устройстве кумысо-лечебного заведения на станции Бер Чогур и соляных купален на станции Илецк, предлагая в проекте ассигнование каждой дороге по 2000 рублей, которые были переданы в распоряжение Ташкентской дороги для организации курортов, которыми могли бы пользоваться все дороги. Желательно привлечь к участию и частные дороги для лечения их служащих.

Не знаю, какой будет результат моего проекта, но исполнение его будет большое приобретение в интересах забот о младших служащих и их семьях.

Конец части 1
Н. П. Верховский
(Железнодорожное дело. — 1911. —
№ 21–22. — С. 35д–43д)

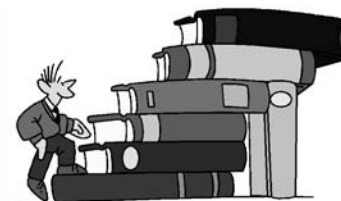
Продолжение публикации
в следующих номерах журнала ●



ТРАНСПОРТНЫЕ ИЗДАНИЯ

118

Обзор публикаций «Бюллетеня ОСЖД»: официальные сообщения, информация, аналитика, научные публикации.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

122

- Разработка системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации в гражданской авиации.
- Применение трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов при строительстве малых мостов.
- Особенности аэродинамики подвагонного пространства высокоскоростного подвижного состава.
- Разработка методов стабилизации цилиндрических мощностей дизеля на режиме холостого хода при электронной системе управления подачей топлива.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

126

Новые издания, вышедшие в издательствах и университетах страны.





Материалы Бюллетеня ОСЖД во втором полугодии 2021 года



В данном номере мы знакомим читателей с содержанием вышедших во втором полугодии 2021 года номеров Бюллетеня Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД). Они затрагивают широкий спектр взаимодействия железнодорожных администраций и компаний из стран – членов этой авторитетной международной организации.

Ключевые слова: ОСЖД, Бюллетень ОСЖД, Организация сотрудничества железных дорог.

В свдвоенном номере 4–5 за 2021 год, в частности, размещены:

- материалы о деятельности Группы ПКП (Польские государственные железные дороги) в связи с 20-летием Компании;

- статья председателя Комиссии ОСЖД по транспортному праву Николая Носенко к 70-летней дате двух важнейших документов, обеспечивающих правовое поле осуществления международных железнодорожных перевозок пассажиров и грузов между странами – членами ОСЖД на Евразийском континенте: Соглашению о международном пассажирском сообщении (СМПС) и Согла-

шению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС);

- статья начальника Отдела международных связей и взаимодействия с федеральными, региональными органами власти и общественными объединениями АО «ФПК» Игоря Лецинина «Перспективы восстановления международных пассажирских железнодорожных перевозок в «постпандемийный» период»;

- статья председателя Комиссии ОСЖД по грузовым перевозкам З. А. Аспаевой, профессора ПГУПС В. Л. Белозерова, профессора РУТ (МИИТ) П. В. Куренкова и старшего преподавателя РУТ (МИИТ) А. В. Астафьева,

Для цитирования: Материалы Бюллетеня ОСЖД во втором полугодии 2021 года // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6 (97). С. 118–121. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-13>.

**Полный текст редакционной публикации на английском языке размещён во второй части данного выпуска.
The full text of the editorial publication in English is posted in the second part of the issue.**

доцента СамГУПС В. А. Садчиковой «Инфраструктура железных дорог России и стран ОСЖД: проблемы и перспективы», в которой проводится краткий анализ реализации намеченных планов по развитию инфраструктуры в Российской Федерации, а также приводится статистика грузовых перевозок по железнодорожным транспортным коридорам ОСЖД, проходящим по территории России; показано экономическое значение обеспечения безопасности перевозочного процесса;

- статья кандидата технических наук Александра Лувишиса «Локомотивы и поезда без машинистов на железных дорогах мира и ОСЖД», в которой сделан акцент на том, что «роботизация подвижного состава – это революционное изменение железных дорог, сравнимое с переходом от паровой к электрической тяге, которая способствует повышению эффективности, безопасности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта»;

- информационное сообщение об участии Председателя Комитета ОСЖД Мирослава Антоновича в XXX юбилейном пленарном заседании КСТП, проходившем в столице Российской Федерации г. Москве 15–16 сентября 2021 года, рабочих встречах с заместителем министра транспорта РФ Владимиром Токаревым, а также с руководством ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) во главе с генеральным директором – председателем правления Олегом Белозёровым;

- информация о встрече делегации Комитета ОСЖД с Чрезвычайным и Полномочным Послом Республики Кореи в Республике Польша;

- информация специалиста Комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития Дианы Юрковски о IX Международном межведомственном совещании стран – членов ОСЖД «Практика пересечения границ железнодорожным транспортом», которое в соответствии с Планом работы Комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития на 2021 год по теме «Разработка мер, направленных на облегчение пересечения границ при международных железнодорожных перевозках в Евроазиатском пространстве» было проведено с 21 по 22 сентября 2021 г. в Гданьске;

- информационное сообщение о Совещании I группы железных дорог ОСЖД по разработке и окончательному согласованию расписаний движения пассажирских поездов в международном сообщении на 2021/2022 год, состоявшемся в Оломоуце (Чехия) 9–13 августа 2021 г.;

- информационное сообщение о Совещании экспертов железных дорог по теме «Системы резервирования мест, справочно-информационного обслуживания пассажиров, предоставления услуг и формирования финансовой отчётности», проведённом в соответствии с Планом работы Комиссии ОСЖД по пассажирским перевозкам на 2021 год с 28 по 30 сентября 2021 года в Комитете ОСЖД (г. Варшава) в режиме видеоконференции;

- информация специалиста Постоянной рабочей группы ОСЖД по финансовым и расчётным вопросам Кунки Кирковой об Итоговом совещании представителей Сторон Договора о «Правилах о расчётах в международном пассажирском и грузовом железнодорожном сообщении», состоявшемся в соответствии с Планом работы Постоянной рабочей группы ОСЖД по финансовым и расчётным вопросам (ПРГФ) с 12 по 15 октября 2021 г. в режиме видеоконференции;

- информация специалиста Комиссии ОСЖД по транспортному праву Елены Антонович о 21-м заседании Рабочей группы ЦИВ/СМПС (ЦИВ – Международная конвенция по перевозке пассажиров и багажа железнодорожным транспортом, СМПС – Соглашение о международном пассажирском сообщении), проведённом с 20 по 21 октября 2021 г. в штаб-квартире ЦИТ (г. Берн, Швейцария) в режиме видеоконференции с участием представителей Генерального секретариата ЦИТ (ГС ЦИТ), Генерального секретариата ОТИФ, ÖBB, АО «ПКП Интерсити», ОАО «РЖД» / АО «ФПК» и АО «Укрзализныця», а также представителя Комитета ОСЖД в качестве наблюдателя;

- информационное сообщение об обучающем семинаре ОСЖД на тему «Применение накладной ЦИМ/СМГС», проведённом в соответствии с Планом работы Комиссии ОСЖД по грузовым перевозкам 7–8 июля 2021 года, в работе которого приняли участие



представители железных дорог стран – членов ОСЖД: ЗАО «АЖД», АРА, БЧ, ВЖД, ГР, РАИ, АО «НК КТЖ» (КЗХ), Korail, КРГ, ЧФМ, АО «УБЖД», Министерства инфраструктуры Республики Польша, АО «ПКП Групп» (АО «ПКП Карго», АО «ПКП Информатика», ООО «ПКП ЛХС»), ОАО «РЖД», ТДЖ, ТРК, УТИ, УЗ, ЧД Карго; наблюдателей ОСЖД – VR Group, Национального общества Французских железных дорог – Грузовые перевозки (СНЦФ Фрет); присоединённых предприятий ОСЖД – АО «ОТФИК ЕРА», АО «Евросиб СПб Транспортные системы», АО «ПЛАСКЕ»; международных организаций – ВТАМО, ЕАЭК, ЦИТ, КСТП, ОЮЛ МА ТМТМ; приглашённые представители АО «ТЦДД-Перевозки», а также представители Комитета ОСЖД;

- информационное сообщение о Юбилейном международном железнодорожном салоне пространства 1520 «PRO//Движение. ЭКСПО» (26–29 августа 2021 года на территории экспериментального железнодорожного кольца АО «ВНИИЖТ», Щербинка, город Москва, Россия);

- информационное сообщение о проходившей в 14-й раз Гданьске с 21 по 24 сентября 2021 года международной железнодорожной выставке «ТРАКО» (TRAKO);

- информация Председателя Комитета ОСЖД Мирослава Антоновича и специалиста Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу Ангелины Шургановой о состоявшемся с 18 по 19 августа 2021 года в Варшаве «IX Форуме интермодальных перевозок» (FRACHT)».

В номере 6 за 2021 год, в частности, размещены:

- информация о годовом совещании Комиссии ОСЖД по транспортной политике и стратегии развития, в котором 19–22 октября 2021 года в Комитете ОСЖД (г. Варшава) с использованием режима ВКС приняли участие представители стран – членов ОСЖД от: Азербайджанской Республики, Республики Беларусь, Республики Болгарии, Венгрии, Грузии, Республики Казахстан, Китайской Народной Республики, Кыргызской Республики, Латвийской Республики, Литовской

Республики, Республики Молдова, Монголии, Республики Польша, Российской Федерации, Румынии, Словацкой Республики, Республики Узбекистан, Украины, Чешской Республики, Эстонской Республики, а также присоединённого предприятия ОСЖД – Metrans Group, международных организаций – Евразийской экономической комиссии, Международного союза железных дорог, Международного Координационного совета по трансевразийским перевозкам, Международной ассоциации «Транскаспийский международный транспортный маршрут».

- информационное сообщение о совместном совещании Уполномоченных представителей членов Совещания Министров ОСЖД и Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД, в котором 30 ноября–3 декабря 2021 года приняли участие Уполномоченные представители членов Совещания Министров ОСЖД и/или Уполномоченные представители членов Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД.

- статья председателя Комиссии ОСЖД по грузовым перевозкам Зубайды Аспаевой, посвящённая результатам работы, которые были отмечены на итоговом совещании Комиссии ОСЖД по грузовым перевозкам (12–15 октября 2021 года в Комитете ОСЖД (г. Варшава) в режиме видеоконференцсвязи) и задачах на предстоящий период;

- информационное сообщение о годовом совещании Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу (8–10 ноября 2021 года в Комитете ОСЖД в формате видеоконференции) с участием ЗАО «АЖД», БЧ, НК «ЖИ» (Болгария), ЗАО «МАВ» и ЗАО «МАВ-Штарт», АО «НК КТЖ», АО LTG Infra, ЧФМ, АО «ПКП», ОАО «РЖД», ЖСР, «ЧФР» – АО, АО «Укрзализныця», АО «ЧД», а также присоединённых предприятий ОСЖД – Юго-Западного университета путей сообщения (Китай, г. Чэнду) и ООО «Бетамонт» (Словакия); международных организаций – ОТИФ, МСЖД, а также Комитета ОСЖД;

- статья Главного редактора журнала «Бюллетень ОСЖД» Сергея Кабенкова, посвящённая знаменательному событию: более



50 лет назад, в ноябре 1970 года, в СССР были утверждены новые «Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР», согласно которым на территории всей страны была установлена норма ширины рельсовой колеи (РК) в 1520 мм;

- информационное сообщение о встрече с делегацией Республики Кореи в Комитете ОСЖД, состоявшейся 8 декабря 2021 года, делегации сторон на ней возглавляли Председатель Комитета ОСЖД Мирослав Антонович и Министр земли, инфраструктуры и транспорта Республики Кореи Но Хёнг Ук. В состав делегации Республики Кореи также входили Чрезвычайный и Полномочный Посол Республики Кореи в Республике Польша Мира Сун, заместитель министра по вопросам авиации Ким Ён Сок, советник министра по вопросам инфраструктуры Квон Хёк Джин, директор Отдела поддержки строительства за рубежом Цой Джон Мин, председатель Корейской ассоциации по зарубежному строительству (ИСАК) Пак Сун Хо, заместитель директора Отдела поддержки строительства за рубежом Квак Ин Ёнг и другие официальные лица;

- материал, посвящённый посвящён XV Международному форуму и выставке «Транспорт России». В нём отмечается, что указанные мероприятия состоялись в рамках «Транспортной недели 2021» в Москве, проходившей с 13 по 19 ноября. Форум проходил в очном формате с соблюдением всех требований эпидемиологической безопасности, а для тех делегатов, которые не смогли прибыть для участия по причинам эпидемиологических ограничений, была организована возможность участия в режиме видеоконференцсвязи. На форуме и выставке традиционно обсуждалась вся проблематика развития основных видов транспорта в России и в международном сегменте, а также были продемонстрированы основные достижения транспортной отрасли за прошедший год;

- информационное сообщение о состоявшейся 9 декабря 2021 года в Москве XIX Международной конференции «Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнёрство», которую традиционно проводит редакция журнала «РЖД-Партнёр». В этот раз она прошла в очном режиме, а для делегатов, которые не смогли приехать ввиду ограничений, был также организован онлайн-формат.



*Текст на английском языке публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published in the second
part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-14>

Будков А. С. Разработка системы поддержки принятия решения для задачи четырёхмерной навигации в гражданской авиации / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАИ, 2021. – 22 с.

Одним из направлений развития аэронавигации в соответствии с глобальным аэронавигационным планом Международной организации гражданской авиации (ИКАО) является внедрение возможности глобального управления четырёхмерными траекториями. Для реализации этой возможности требуется модернизация не только наземной аэронавигационной инфраструктуры, но и модернизация существующих комплексов бортового оборудования.

Одной из основных бортовых систем, обеспечивающих полёт воздушного судна (ВС) по заданному маршруту, является система самолётовождения. Именно она в первую очередь должна быть способна поддерживать полёты по четырёхмерным маршрутам.

Ключевой задачей четырёхмерной навигации является обеспечение возможности ВС прибыть в заданную точку маршрута в заданное время. В функционале современных вычислительных систем самолётовождения уже существует функция, которая в той или иной мере решает эту задачу. Эта функция называется RTA (от англ. Required Time of Arrival).

Цель диссертационной работы – повышение уровня безопасности полётов за счёт автоматизации оперативного бортового планирования четырёхмерных маршрутов с учётом влияния ветровой обстановки, запретных зон и зон сложных метеоусловий.

В диссертационной работе получены следующие основные выводы и результаты.

Поставлена и решена задача разработки системы поддержки принятия решения, обеспечивающей решение проблем, возникающих при полётах по четырёхмерным маршрутам.

Разработана архитектура системы поддержки принятия решения, которая содержит все необходимые элементы и связи с внешними систе-

мами для обеспечения возложенных на неё функций. Система состоит из трёх модулей, а также взаимодействует с базой данных ЛТХ, системой самолётовождения, источником метеоданных и данных о запретных зонах.

Разработана методика поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов, удовлетворяющая требованиям, определённым к ней в результате анализа выявленных проблем при полётах по четырёхмерным маршрутам, а именно:

- обеспечивать поиск решений по четырём критериям оптимизации;
- выполнять расчёт трёхмерной траектории за один шаг вычислений без разделения горизонтальной и вертикальной плоскостей;
- учитывать влияние ветровой обстановки, а также наличие зон сложных метеоусловий или запретных зон;
- ЛТХ ВС.

Разработаны правила формирования признака недоступности движения по активному маршруту, определены условия информирования экипажа о возникновении нештатной ситуации при полёте по четырёхмерному маршруту для функций мониторинга активного плана полёта и поддержки принятия решения соответственно.

Разработаны алгоритмы, реализующие основные шаги методики поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов, правила мониторинга статуса выполнения четырёхмерного маршрута, а также формирования признаков возникновения проблем в процессе выполнения четырёхмерного маршрута.

Разработанное математическое обеспечение реализовано в виде программного обеспечения на языке Java Script, имеет модульную архитектуру и включает в себя: модуль поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов, модуль мониторинга активного плана полёта и модуль поддержки принятия решения. ПО «Имитатор модуля поиска оптимального четырёхмерного маршрута системы поддержки принятия решения» зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616587 от 23.04.2021).

Проведено три этапа моделирования, которые полностью подтвердили работоспособность и адекватность разработанного программно-алгоритмического обеспечения для расчёта оптимальных четырёхмерных маршрутов.

Результаты моделирования численно подтвердили эффективность:

- применения выбранных критериев оптимизации для решения задачи поиска оптимальных четырёхмерных маршрутов;
- анализа трёхмерного пространства за один шаг вычислений;
- применения алгоритма A-star с точки зрения адекватности времени вычислений на маршрутах различной дальности.

Результаты диссертационной работы внедрены в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу «Разработка бортового радиоэлектронного оборудования для семейства магистральных самолётов МС-21 (МС-21–200 и МС-21–300, с двигателями PW-1400 и ПД-14)» филиала ПАО «Корпорация «Иркут» «Центр комплексирования» и учебный процесс кафедры 703 «Системное проектирование авиакомплексов» Института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» МАИ, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки).

Работа выполнена и защищена в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет).

Михалдыкин Е. С. Применение трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов при строительстве малых мостов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2021. – 25 с.

Актуальность разработки новых конструктивных решений для возведения малых мостов, позволяющих снизить стоимость и сроки строительства, а также увеличить срок службы сооружений, вытекает из состояния мостового парка автомобильных дорог Российской Федерации.

По данным Росстата, состояние более 500 постоянных сооружений оценивается как аварийное. Кроме того, большую проблему вызывают временные сооружения, такие как деревянные мосты с ограниченным сроком службы – если в Ульяновской области число деревянных мостов составляет 79 шт., то в Хабаровском крае их уже 706 шт. Как указано в выводах международного рейтинга Global Competitiveness Report Всемирного экономического форума 2019, Российская Федерация по качеству дорог занимает 99-е место из 141. Косвенно нехватку мостового парка можно оценить по количеству постоянно действующих переправ – 257 летних и 3500 зимних, а также по величине транспортного перепробега – 70–80 % для Москвы и не менее 50 % по всей России. С другой стороны, актуальность исследования – применение полимерных композитных материалов в строительстве – подтверждается включением данной темы в Государственную программу «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности».

Острота проблемы подтверждается всесторонним обсуждением о необходимости включения программы «Мосты и путепроводы» в состав Национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (БКАД), а также включением вопроса о решении проблем мостового парка в «Комплексный

план расширения и модернизации магистральной инфраструктуры до 2024 года (КПМИ)».

Цель диссертационного исследования – разработка методологии применения арочных трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов при строительстве малых мостовых сооружений.

В рамках диссертационного исследования в соответствии с поставленной целью разработана общая методология проектирования и расчёта арочных трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов при строительстве малых мостовых сооружений.

Результаты и основные выводы диссертационной работы состоят в следующем:

- проведён обзор и анализ существующих исследований и апробированных методик расчёта как традиционных трубобетонных конструкций со стальной оболочкой, так и конструкций с полимерной композитной оболочкой. Показана историческая ретроспектива развития направления исследований трубобетонных конструкций. Рассмотрены существующие подходы к проектированию мостовых сооружений с главными несущими элементами из трубобетонных конструкций на основании анализа возведённых сооружений;

- разработана математическая модель трубобетонной конструкции с полимерной композитной оболочкой, опирающаяся на теоретический подход распределения деформаций по высоте сечения из предпосылки соблюдения гипотезы плоских сечений. Предложены критерии прочности, основанные на хорошо апробированных моделях работы бетона, используемых в действующей нормативной документации. Разработан алгоритм методики расчёта несущей способности сооружений;

- разработана программа испытаний материалов и конструктивно-подобных элементов балочных и арочных образцов из ПКМ в натуральную величину. Проведены испытания материалов для определения механических и физических свойств, стойкости к воздействию агрессивных сред. Показано, что существующая в ГОСТ 25.601-80 методика испытаний не подходит для определения предела прочности ко-соармированных анизотропных образцов с биксиальным плетением. Предложена методика испытаний подобных материалов;

- по результатам испытаний конструктивно-подобных балочных и арочных образцов в натуральную величину проведён анализ возможных дефектов оболочки и их влияние на несущую способность. Показано отсутствие накопления деформаций и других негативных эффектов после малоцикловых испытаний. Экспериментально обосновано отсутствие проскальзывания между оболочкой и бетонным сердечником;



- отработаны технологические параметры изготовления арочных трубобетонных конструкций;

- приведены результаты верификации разработанной методики и сравнение её достоверности с другими аналогичными методиками. Показано, что разработанная методика даёт среднюю погрешность 13,5 %. Выполнено сравнение с апробированной методикой института штата Мэн, которое показало среднюю погрешность с экспериментальными данными данной работы величиной 75 %;

- анализ данных эксперимента позволил сделать вывод о надёжности и безопасности эксплуатации сооружений с главными несущими элементами в виде трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композитных материалов. Для подтверждения сделанных выводов была разработана система мониторинга за состоянием пилотного сооружения;

- в рамках приведённой работы были разработаны основные подходы к проектированию сжато-изгибаемых трубобетонных конструкций с оболочкой из полимерных композитных материалов. На основании выполненного анализа влияния различных дефектов на несущую способность конструкции были разработаны требования к допустимым дефектам оболочки.

05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Полякова Е. Я. Особенности аэродинамики подвагонного пространства высокоскоростного подвижного состава / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 16 с.

Одним из приоритетных направлений развития современного железнодорожного транспорта является создание сети высокоскоростного железнодорожного сообщения, обеспечивающего оптимальное для пассажиров соотношение скорости, безопасности, комфорта и стоимости проезда. Увеличение скорости движения поездов влечёт за собой необходимость решения широкого круга задач, в том числе связанных с анализом процессов, возникающих в результате аэродинамического взаимодействия частиц балласта и кусков льда (в холодное время года) с воздушными потоками, генерируемыми проходящим высокоскоростным подвижным составом, поскольку частицы балласта, подхваченные указанными воздушными потоками, обладающие достаточно высокой кинетической энергией и движущиеся по достаточно сложной траектории, несмотря на свои малые размеры представляют серьёзную опасность как для напольных

устройств СЦБ и узлов подвижного состава, так и для пешеходов, пассажиров и работников железнодорожного транспорта.

Целью диссертационной работы является решение научной задачи исследования процессов движения воздушных масс в подвагонном пространстве высокоскоростного подвижного состава, механизма увлечения частиц воздушным потоком и взаимодействия их с кузовом, подвагонным оборудованием и ходовыми частями.

В работе выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по решению научной задачи движения воздушных масс в подвагонном пространстве высокоскоростного подвижного состава, механизма увлечения частиц воздушным потоком и взаимодействия их с кузовом, подвагонным оборудованием и ходовыми частями. При этом:

- установлено, что существующая концепция моделирования высокоскоростного подвижного состава представляет исследуемый объект в виде тонкого тела большого удлинения с плохобтекаемой формой, имеющий интенсивную турбулентную диффузию в районе головного и хвостового обтекателей, а также в нишах ходовых частей и междвагонных промежутков. В подобных моделях отсутствует возможность определения частных случаев взаимодействия воздушной среды, возмущаемой подвижным составом, и объектов окружающей инфраструктуры, например, подвагонного пространства. Показано, что существующие модели, методики и нормативные документы не рассматривают возможность подъёма частиц с железнодорожного пути в летнее время и ледяных частиц в зимнее;

- разработана методика по определению направления потоков объёмов воздуха из нижней части кузова вагона, ниш ходовых частей в боковых направлениях, а также в пространство между кузовом и рамой тележки. Проведена её верификация и программная реализация на основе сравнения с результатами испытаний аналогичных по типу геометрии моделей в аэродинамических трубах и при натурных замерах;

- установлено (экспериментально и численно), что при низкочастотных колебаниях железнодорожного полотна при движении высокоскоростного подвижного состава частица балласта, свободно лежащая на шпале дорожных путей, способна потерять контакт с землей и зависнуть в воздухе, что называется «витанием частицы». Также определён диаметр частицы, которая может быть увлечена потоком воздуха с поверхности верхнего строения пути.

Предложена классификация повреждений нижних люков и боковых элементов фальшбортов подвагонного пространства вылетающим щебнем по характерной форме остаточной пластической деформации на три вида:

- деформация «колоколообразной» формы, деформация в виде борозды и «пробой» в виде

отверстия неправильной формы. Предложены схемы взаимодействия витающей частицы с поверхностью люка корпуса: упругий рикошет, пластический рикошет;

- разработано математическое описание динамического нагружения на композитную пластину части защитного борта кузова при ударе твёрдой частицы с помощью модифицированной модели Зинера;

- изучено три варианта численного моделирования динамического нагружения защитного борта кузова: композитная мембрана, композитная структура с балочными объёмными элементами, композитная структура послойного представления. Показано, что наиболее адекватной моделью, отвечающей реальным физическим характеристикам высокоскоростного динамического нагружения, соответствует композитная структура послойного представления;

- даны рекомендации по предотвращению увлечения частиц балластного слоя высокоскоростным подвижным составом;

- предложена пространственная аэродинамическая модель структуры движущихся воздушных масс в подвагонном пространстве высокоскоростных составов, позволяющая установить особенности формирования снеговых и ледяных отложений на критически значимых для безопасности движения элементах конструкции ходовой части.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Струнгарь С. А. Разработка методов стабилизации цилиндровых мощностей дизеля на режиме холостого хода при электронной системе управления подачей топлива / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.

Целью диссертационной работы является повышение экономичности работы дизеля 1-ПД4Д с ЭСУВТ.01 путём разработки методов технического диагностирования и стабилизации цилиндровых мощностей на режиме холостого хода.

В диссертации получены следующие основные результаты:

- анализ работы дизелей 1-ПД4Д тепловозов ТЭМ18ДМ с ЭСУВТ.01 в эксплуатации на режиме холостого хода выявил неравномерность распределения индикаторных мощностей по цилиндрам, величина которой составляет до 11,5 % от всей мощности дизеля;

- разработан и апробирован способ определения индикаторной мощности цилиндра дизеля на режиме холостого хода с помощью измерения приращения продолжительности подачи топлива

электроуправляемыми топливными насосами ЭСУВТ.01 при отключении подачи топлива в цилиндр;

- разработаны и апробированы методы технического диагностирования работы цилиндров дизеля, позволяющие уточнить причину отказа цилиндра;

- разработан расчётный и экспериментальный методы стабилизации цилиндровых мощностей дизеля 1-ПД4Д с ЭСУВТ.01 на режиме холостого хода;

- на основе разработанных методов составлены алгоритмы технического диагностирования работы цилиндров и стабилизации цилиндровых мощностей дизеля;

- проверка алгоритмов на стендовом дизель-генераторе 1-ПДГ4Д показала, что в результате стабилизации мощностей по расчётному методу произошло перераспределение индикаторных мощностей по цилиндрам. При этом разница индикаторных мощностей не изменилась и осталась равной 2,2 кВт. В результате стабилизации мощностей экспериментальным методом получено снижение разницы индикаторных мощностей по цилиндрам с 2,5 кВт до 1,8 кВт;

- проверка алгоритмов на дизеле 1-ПД4Д тепловоза ТЭМ18ДМ № 1022 в условиях эксплуатации показала, что в результате стабилизации мощностей экспериментальным методом получено снижение разницы индикаторных мощностей по цилиндрам с 3,0 кВт до 1,0 кВт;

- произведена оценка эффективности реализации предложенных технических решений. Экономия эксплуатационных расходов за срок службы системы ЭСУВТ.01 в 15 лет за счёт реализации алгоритмов технического диагностирования и стабилизации цилиндровых мощностей на дизелях 1-ПД4Д парка тепловозов ТЭМ18ДМ приписки эксплуатационного локомотивного депо Бологовское в количестве 20 единиц составляет 4,35 млн руб. Срок окупаемости предложенных технических решений 0,65 года;

- результаты настоящей работы планируется использовать при дальнейшем совершенствовании системы электронного впрыска топлива тепловозных дизелей.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается корректировка расчётного метода стабилизации цилиндровых мощностей в части уточнения величины изменения индикаторного КПД при варьировании количества поданного в цилиндр топлива, а также уточнения величин отличия механических потерь по отдельным цилиндрам дизеля.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.





НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*Список на английском языке публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The list of titles in English is published
in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-15>

Андреева Т. И. Частный железнодорожный транспорт Сибири: Монография. – Барнаул: АлтГПУ, 2021. – 275 с. ISBN 978-5-88210-999-7.

Апатцев В. И., Иванкова Л. Н., Иванков А. Н. Станции и узлы: Учеб. пособие в двух частях. – Саратов: Профобразование, 2021. – Ч. 1. – 158 с. ISBN 978-5-4488-1150-0; Ч. 2. – 251 с. ISBN 978-5-4488-1152-4.

Блонский Л. В. История водного и воздушного транспорта России: Учеб. пособие. – Минтранс РФ, РУТ (МИИТ). – Саратов: Амирит, 2021. – 148 с. ISBN 978-5-00140-844-4.

Бочкарёва Н. А. Обслуживание пассажиров железнодорожного транспорта в пути следования: Учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 295 с. ISBN 978-5-4497-0596-9.

Буковский С. Л., Сачкова Е. В. Английский язык для железнодорожного транспорта: Учебник. – 2-е изд., стер. – М.: Флинта, 2022. – 469 с. ISBN 978-5-9765-3992-1.

Вильк М. Ф., Гуревич К. Г., Жидкова Е. А., Онищенко Г. Г. Медицинские аспекты безопасности железнодорожного движения: Монография. – М.: СПМ-Индустрия, 2021. – 285 с. ISBN 978-5-906410-19-1.

Володькин П. П., Широкопад О. А., Архипов С. А., Рыжова А. С. Пассажиры автомобильные перевозки: технология организации и управления: Учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2021. – 98 с. ISBN 978-5-7389-3455-1.

Газизова Д. Б., Яновский И. И., Тигина Е. Г. Управление пассажирскими перевозками: Учеб. пособие. – Омск: Омскбланкиздат, 2021. – 360 с. ISBN 978-5-8042-0711-4.

Гречёв В. В., Кручек В. А., Базилевский Ф. Ю. Основы рабочих процессов дизельных двигателей тепловозов: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 40 с. ISBN 978-5-7641-1521-4.

Дегтярева О. С. Статистика железнодорожного транспорта: Практикум. – Новосибирск: Изд-во Сибирского гос. ун-та путей сообщ., 2021. – 82 с. ISBN 978-5-00148-164-5.

Дорофеев В. В., Кузнецов И. Е., Степанов А. В., Черепанов Д. В. Авиационная метеорология: Учеб. пособие. – Воронеж: Цифровая полиграфия, 2021. – 210 с. ISBN 978-5-907283-62-6.

Дудкин Е. П., Мокейчев Е. Ю., Маршавина О. А. Организация перевозок на промышленном железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 41 с. ISBN 978-5-7641-1530-6.

Жевтун И. Ф., Ланских В. В. Логистика и технологии грузовых перевозок на автомобильном транспорте: Учеб.

пособие. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2021. – 109 с. ISBN 978-5-7389-3402-5.

Зыкин С. А., Кулагин А. В. Системы связи и оповещения. Информационно-техническое оснащение центра управления в кризисных ситуациях: Учеб. пособие. – Ижевск: Удмуртский университет, 2021. – 57 с. ISBN 978-5-4312-0884-3.

Кондрашов В. М., Максимов И. Н. Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. – М.: РАС, 2021. – 105 с. ISBN 978-5-6047616-0-1.

Коровяковский Е. К., Слободчиков Н. А. Коммерция грузовых перевозок: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Ч. 2. – 55 с. ISBN 978-5-7641-1596-2.

Ксензова Н. Н., Ротко Л. А., Лепехина Ю. А. и др. Механизм создания системы координации бизнес-процессов в интегрированных логистических сетях портов Азово-Черноморского бассейна: Учеб. пособие. – М.: Альпен-Принт, 2021. – 76 с. ISBN 978-5-6045948-1-0.

Лычев Д. И. Проблемы правовой охраны атмосферного воздуха в деятельности железнодорожного транспорта: Монография. – Саранск: Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, 2021. – 148 с. ISBN 978-5-7103-4236-7.

Малыгин Е. А. Технические средства и технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. – Екатеринбург: УрГУПС, 2021. – 448 с. ISBN 978-5-94614-496-4.

Мишенин С. Е. Экономия перевозочных ресурсов. Опыт железнодорожников Западной Сибири 1965–1991 годов: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 264 с. ISBN 978-5-16-01612-8-0.

Огнев А. С., Николаева Л. П., Лихачева Э. В. Эффективное разрешение конфликтов как составляющая управления ресурсами экипажа (CRM). – М.: Спутник+, 2021. – 22 с. ISBN 978-5-9973-5977-5.

Панин Ю. А., Гриневич В. П., Иванова Н. Г. [и др.] Лубрикация рельсов на железнодорожном транспорте: популярно о теории и практике / Под ред. Ю. А. Панина. – Тула: Бюрос-Принт, 2022. – 152 с. ISBN 978-5-905154-70-6.

Панк Р. В., Голена Ю. В. Логистика пассажирских перевозок: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2021. – 100 с. ISBN 978-5-00148-220-8.

Рахмангулов А. Н., Цыганов А. В., Пикалов В. А., Муравьев Д. С. Математическое моделирование транспортных систем и процессов: Учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, 2021. – 190 с. ISBN 978-5-9967-2253-2.

Соколов М. М. Основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. пособие. – Омск: ОмГУПС, 2021. – Ч. 2. – 78 с. ISBN 978-5-949-41273-2

Цевелев А. В. Управление материальными ресурсами: материально-техническое обеспечение (железнодорожный транспорт): Учебник. – М.: Инфра-М, 2021. – 427 с. ISBN 978-5-16-017025-1.

Шапкин И. Н. Настоящее и будущее эксплуатационной науки на железнодорожном транспорте. – М.: Финансы и статистика, 2021. – 490 с. ISBN 978-5-00184-059-6.

Шкурина Л. В., Покусаев О. Н., Маскаева Е. А. Современные тенденции экономического управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте: создание конкурентных преимуществ и моделирование рынка. – М.: ВИНТИ РАН, 2021. – 161 с. ISBN 978-5-902928-93-5.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●

СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРОВ ЖУРНАЛА «МИР ТРАНСПОРТА», ВЫШЕДШИХ В 2021 ГОДУ В ТОМЕ 19

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Агуреев И. Е., Ахромешин А. В.

Математическая модель транспортного поведения на основе
теории транспортных макросистем

№ 6 (97) С. 13–18

Алексеев В. М., Баранов Л. А., Кулагин М. А., Сидоренко В. Г.

Построение архитектуры интеллектуальной системы управления
городской рельсовой транспортной системой

№ 1 (92) С. 18–46

Баранов Л. А., Бестемьянов П. Ф., Балакина Е. П., Охотников А. Л.

Погрешности измерения расстояния до препятствия средствами
технического зрения и прогноза пути торможения в беспилотных
системах управления движением поездов

№ 6 (97) С. 6–12

Григорьев П. С., Коржин С. Н., Ибодуллоев Ш. Р., Чан Фу Тхуан

Математическое моделирование колебаний вагонов-цистерн с учётом
неполного заполнения ёмкости жидким грузом

№ 2 (93) С. 25–30

Гучинский Р. В.

Применение упругих креплений оборудования для повышения частоты
колебаний кузова вагона

№ 2 (93) С. 6–12

Козлов П. А., Вакуленко С. П., Козлова В. П., Евреенкова Н. Ю.

О принципах расчёта транспортных узлов

№ 4 (95) С. 6–12

Коссов В. С., Савин А. В., Краснов О. Г.

К вопросу определения относительной контактно-усталостной
повреждаемости поверхности катания рельсов

№ 1 (92) С. 6–17

Попов И. П.

Модель трогания тяжёлого состава

№ 2 (93) С. 19–24

Сладкова Л. А., Неклюдов А. Н.

Динамика подвижного состава и выбор параметров гасителей колебаний

№ 4 (95) С. 13–20

Филиппова Н. А., Башмаков И. А., Кочегура Д. Ю.

Цели и риски деятельности как факторы регулирования
в социальных системах на транспорте

№ 2 (93) С. 13–18

НАУКА И ТЕХНИКА

Бунькова Т. Г.

Повышение живучести железнодорожного колеса за счет
применения поверхностно-упрочняющих технологий

№ 1 (92) С. 48–59

Ворон О. А.

Методология исследования потребностей развития
транспортной инфраструктуры и подвижного состава для перевозок
скоропортящихся грузов

№ 3 (94) С. 6–15

Димитров Р.

Оценка ресурса и остаточного ресурса одного
из классов релейных централизаций

№ 5 (96) С. 6–16

Казанский Н. А., Лысюк П. И.

Методы анализа и синтеза коммутационных
схем фотонных коммутаторов на примере схемы Шпанке

№ 5 (96) С. 17–22



Квашнин Н. М., Бондарь И. С., Квашнин М. Я.

Методики обработки экспериментальных данных мониторинга состояния мостовых конструкций

№ 4 (95) С. 22–33

Котиев Г. О., Евсеев К. Б., Годжаев З. А.

Анализ конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок

№ 5 (96) С. 23–34

Куликов М. Ю., Бирюков В. П., Принц А. Н.

Анализ триботехнических свойств и сравнительная оценка полимерных материалов и резины, применяемых в подвижном составе

№ 3 (94) С. 16–24

Немцов Ю. В., Серёгин И. В., Вольнов П. И.

Работоспособность базовых станций в цифровых сетях радиосвязи железнодорожного транспорта

№ 2 (93) С. 41–48

Никишечкин А. П., Дубровин Л. М., Давыденко В. И.

Феррозонды в бортовых системах взвешивания большегрузных самосвалов

№ 3 (94) С. 25–32

Петрушин А. Д., Смачный В. Ю., Лобынцев В. В., Фокин С. Г.

Автоматизация управления электроприводом обитаемого подводного аппарата

№ 6 (97) С. 20–25

Постолит А. В.

Перспективы применения искусственного интеллекта и компьютерного зрения в транспортных системах и подключенных автомобилях

№ 1 (92) С. 74–90

Постолит А. В.

Автоматизация сбора первичных данных для формирования матрицы корреспонденций поездок пассажиров на основе компьютерного зрения и нейросетевых технологий

№ 2 (93) С. 32–40

Стекольников М. В., Милованова Л. Р., Челышева И. А.

Моделирование механизмов как методический инструмент (на примере проектирования циклоидально-цевочной передачи)

№ 4 (95) С. 40–46

Троицкий П. С.

Применение газотурбинной тяги в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей в России

№ 6 (97) С. 26–30

Черняев И. О., Евтюков С. А.

Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков

№ 4 (95) С. 34–39

Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А., Суханов А. В.

Концепция цифровой платформы на сортировочных станциях

№ 1 (92) С. 60–73

ЭКОНОМИКА

Акимов А. В., Бубнова Г. В.

Логистика пассажирских перевозок на общественном транспорте для условий цифровой трансформации систем организации транспортного обслуживания

№ 4 (95) С. 62–73

Антипенко В. С., Бабич Н. С., Галкин К. В.

Оптимизация уровня запасов как задача логистики

№ 2 (93) С. 64–68

Богер А. Д.

Ситуационный анализ рынка грузовых перевозок и перспективы его развития

№ 6 (97) С. 38–47

Гуськина Н. В.

Влияние транспортного комплекса на экономико-технологический потенциал территорий

№ 5 (96) С. 50–56

Ефимова О. В., Суродин Ю. Н.

Моделирование и оптимизация бизнес-процесса документального сопровождения грузоперевозок для построения цифровой системы документооборота

№ 2 (93) С. 57–63

Жуков В. Е.

Оценка стоимости часто летающего пассажира

№ 4 (95) С. 74–80

Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Покусаев О. Н.

Физический интернет и транспортно-логистические системы цифровой экономики

№ 1 (92) С. 92–109

Матанцева О. Ю., Казанцев И. С., Низов М. А., Спирин И. В.

Методические основы расширенного воспроизводства автотранспортных средств

№ 4 (95) С. 48–61

Наджафов Э. М., Гасанлы О. Н.

Метод оценки услуг логистического аутсорсинга

№ 6 (97) С. 32–37

Никулина Н. Л., Аверина Л. М.

Роль региональной транспортно-логистической инфраструктуры в формировании единого экономического пространства

№ 3 (94) С. 34–44

Пастухов С. С., Стельмашенко К. В.

Новые подходы к управлению ценами на транспортные услуги

№ 6 (97) С. 48–60

Попова Т. А., Попов А. П.

Формализованный подход к оптимальному внедрению комплекса технических средств

№ 3 (94) С. 45–52

Тарасенко Е. А.

Классификация объектов управления цепями поставок с целью обеспечения их устойчивости

№ 2 (93) С. 50–56

Троицкий П. С.

Модель низкобюджетного пассажирского поезда дальнего следования

№ 5 (96) С. 45–49

Тяпухин А. П., Коловертнова М. Ю.

Потоки в цепях создания ценностей

№ 1 (92) С. 110–134

Юсупова О. А.

Анализ лояльности клиентов-частных лиц с целью повышения клиентоориентированности компании-грузоперевозчика

№ 5 (96) С. 36–44

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В.

Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы

№ 3 (94) С. 54–66

Енин Д. В.

Подходы к определению уровня дублирования маршрутов регулярных перевозок

№ 1 (92) С. 210–228

Железнов М. М., Карасев О. И., Тростьянский С. С., Смирнов Р. Г.

Высокоскоростные пассажирские железнодорожные перевозки – приоритет долгосрочного развития

№ 1 (92) С. 194–209

Железнов М. М., Карасев О. И., Раков Д. А., Шитов Е. А.

Оценка драйверов и сдерживающих факторов развития высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок

№ 4 (95) С. 102–109





Кочнева Д. И., Сизый С. В., Чан Хао

Методика оптимального размещения контейнеров в поездах при наличии грузовых операций в пути следования

№ 1 (92) С. 174–193

Кощеева Е. О., Ляпина С. Ю.

Проблемы принятия решений о реализации технологических инноваций на транспорте

№ 4 (95) С. 92–101

Ларин О. Н.

Структурно-содержательная характеристика объекта комбинированных перевозок

№ 2 (93) С. 84–92

Левин Д. Ю.

Оптимизация скорости движения поездов

№ 6 (97) С. 73–90

Мехедова Е. А.

Анализ влияния количества остановок пассажирских и пригородных поездов на выполнение графика их движения

№ 1 (92) С. 136–155

Микрюков К. С.

Особенности методов оценки перспективной интенсивности движения при проектировании платных автодорог

№ 6 (97) С. 62–67

Мячин В. Н., Ахметов Л. Р., Шуляев В. В., Кондрашкин М. Г.

Особенности формирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования в моногородах России на примере города Нижнекамск

№ 5 (96) С. 91–98

Нечитайло Н. М.

Задачи транспортного типа по критерию времени с учётом характеристик применяемых транспортных средств

№ 3 (94) С. 74–80

Пашкова Т. Н., Филиппова Н. А., Поздняк А. Н.

Международная перевозка крупнотоннажных грузов на примере перевозки компонентов ветроэнергетической установки

№ 1 (92) С. 156–173

Побединский А. А.

Проект организации безостановочного движения по Т-образным перекрёсткам на примере города Тюмени

№ 2 (93) С. 79–83

Полешкина И. О.

Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития

№ 4 (95) С. 82–91

Полешкина И. О., Лутин А. Н.

Развитие транспортной доступности и транспортной связанности Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма

№ 5 (96) С. 83–90

Поляк М., Лахметкина Н. Ю.

Нейтрализация транспортных документов на автомобильном транспорте

№ 2 (93) С. 70–78

Пономарев М. Л., Филиппова Н. А., Великанов А. Ю., Неретин А. А.

Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему

№ 5 (96) С. 69–74

Попов А. Т., Сулова О. А., Коберницкий А. А., Хмелев А. С.

Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний

№ 4 (95) С. 110–116

Саломзода Р. С., Бобоев М. М.

Анализ пассажиропотоков, обслуживаемых автобусными маршрутами Худжанда

№ 3 (94) С. 67–73

Саломзода Р. С., Бобоев М. М.

Анализ состояния пассажирских перевозок в городе Худжанд и перспективы их развития

№ 6 (97) С. 68–72

Трофимова Л. С., Трофимов Б. С., Янкевич Н. В.

Планирование работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении

№ 5 (96) С. 75–82

Тулупов А. В., Белошицкий А. В., Шитов Е. А., Шитова Ю. А.
Инновационные и научно-технологические приоритеты грузового
железнодорожного транспорта

№ 5 (96) С. 58–68

БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Бурак В. Е.

Шум как критерий формирования санитарно-защитных
зон транспортных магистралей

№ 4 (95) С. 126–130

Дмитренко А. В., Колпаков М. И.

Анализ состояния вопроса утилизации низкопотенциальных
энергетических ресурсов на объектах малой энергетики

№ 2 (93) С. 100–106

Мишина Д. Ю.

Снегозадерживающие лесные насаждения в мировой практике

№ 2 (93) С. 94–99

Невзорова А. Б., Скирковский С. В.

Лицевые маски как фактор эвентуальности изменений
безопасности вождения

№ 4 (95) С. 118–125

Незевак В. Л.

Повышение эффективности рекуперации путём применения систем
накопления электроэнергии для собственных нужд тяговых подстанций

№ 3 (94) С. 82–95

Осинцев Н. А.

Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике

№ 5 (96) С. 105–114

Попов А. В.

Исследование склонности к риску среди водителей легковых
автомобилей в возрасте 18–25 лет

№ 3 (94) С. 96–102

Сладкова Л. А., Кузнецов Ф. А.

Исследование характера нагружения металлоконструкций башенного крана

№ 5 (96) С. 100–104

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Грувер Н. В., Землина О. М., Назарова Р. К.

Волонтерская помощь инвалидам и маломобильным гражданам
в образовательных организациях высшего образования транспортной отрасли

№ 1 (92) С. 246–258

Коваленко Н. И., Бучкин В. А., Быков Ю. А., Гринь Е. Н.

Применение цифровизации при планировании контингента по техническому
обслуживанию железнодорожной инфраструктуры

№ 2 (93) С. 116–121

Никитин В. Н., Калашников М. Ю., Литвинова О. С.

Нормирование труда руководителей транспортной компании на принципах
организационного дизайна

№ 2 (93) С. 108–115

Платонова О. А., Пугина Л. В.

Между математикой, железной дорогой и литературой...

№ 3 (94) С. 114–122

Смык А. Ф., Ткачева Т. М., Тимофеева Г. Ю.

Опыт применения онлайн-технологий в транспортном образовании

№ 1 (92) С. 230–245

Федякин А. В., Медведев С. В., Танцевова А. В.

В авангарде транспортного образования и отраслевой науки России:
к 125-летию Российского университета транспорта

№ 3 (94) С. 104–113

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Левин Д. Ю.

Золотая пряжка стального пояса России.

К 120-летию Кругобайкальской железной дороги

№ 1 (92) С. 260–271

Левин Д. Ю.

Первая железнодорожная магистраль России

№ 2 (93) С. 124–136





Левин Д. Ю.

Исторические архитектурные шедевры –
русские столичные железнодорожные вокзалы

№ 4 (95) С. 132–148

Разуваев А. Д.

История развития сухопутной транспортной инфраструктуры:
техническая база и экономические аспекты. Часть 1

№ 6 (97) С. 92–102

Рощевская Л. П., Рощевский М. П.

Послевоенные проекты академика В. Н. Образцова по развитию
транспорта на Европейском Севере СССР

№ 3 (94) С. 124–132

ПРЕСС-АРХИВ

Вагоны-самоходы на русских железных дорогах

№ 5 (96) С. 119–120

Величайший пассажирский паровоз в мире

№ 2 (93) С. 137–138

Верховский Н. П.

О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 1
Савва Иванович Мамонтов о железнодорожном хозяйстве в России

№ 6 (97) С. 103–116

№ 1 (92) С. 272–278

Струве О. А.

Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 1

№ 4 (95) С. 149–152

Струве О. А.

Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 2

№ 5 (96) С. 116–118

Технические железнодорожные училища и ремесленные
железнодорожные курсы

№ 3 (94) С. 133–136

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Дамаскин О. В.

Организационно-правовые проблемы на транспорте в условиях пандемии

№ 3 (94) С. 138–140

Ефанов Д. В.

Обзор книги «Синтез систем управления движением поездов на
железнодорожных станциях с исключением опасных отказов»

№ 5 (96) С. 122–124

Материалы Бюллетеня ОСЖД во втором полугодии 2021 года

№ 6 (97) С. 118–121

Матросова А. Ю.

Обзор книги «Труды по теории синтеза самопроверяемых схем
встроенного контроля на основе двоичных избыточных кодов»

№ 2 (93) С. 140–143

Судаков М. А.

Книга об Игоре Сикорском

№ 4 (95) С. 154–157

Шаров В. А.

Управление перевозками: оптимизация решений

№ 1 (92) С. 280–283

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ИКАО: подготовка персонала по обеспечению безопасности на ВПП

№ 2 (93) С. 122

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

№ 1 (92) С. 284–293, № 2 (93) С. 144–147, № 3 (94) С. 141–145, № 4 (95) С. 158–163,
№ 5 (96) С. 125–131, № 6 (97) С. 122–125

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

№ 1 (92) С. 294–296, № 2 (93) С. 148, № 3 (94) С. 146, № 4 (95) С. 164, № 5 (96) С. 132, № 6 (97) С. 126 ●



XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА «ТРАНСПОРТ РОССИИ»

Мероприятия юбилейного XV Международного Форума и Выставки «Транспорт России», организатором которых являлось Министерство транспорта Российской Федерации, проходили с 16 по 18 ноября в Москве в рамках «Транспортной недели».

Тема этого года – «Транспорт России – 2035. От стратегии – к реализации». За три дня состоялось 27 деловых форматов, в которых приняли участие 1189 человек из 15 стран. Более 300 спикеров выступили с докладами по наиболее актуальным вопросам развития отрасли. На полях «Транспорта России» было подписано 31 соглашение о сотрудничестве и взаимодействии. Следить за всеми открытыми деловыми сессиями можно было онлайн, за три дня число просмотров онлайн-трансляций составило 232 тысячи.

Среди более 90 экспонентов выставки были ведущие игроки транспортного рынка. Посетители могли увидеть здесь все актуальные, инновационные разработки отрасли.

Деловую программу Форума открыла пленарная дискуссия «Транспорт России – 2035. От стратегии – к реализации». На ней приветственное обращение к участникам форума от Президента Российской Федерации Владимира Путина зачитал помощник Президента Игорь Левитин.

Продолжили деловую программу первого дня круглый стол «Открытие совместной обра-

зовательной программы бакалавриата ВШЭ – РУТ (МИИТ) «Экономика транспорта и транспортная инженерия», конференции «Цифровизация процессов управления городскими транспортными системами: безопасность, качество и эффективность» и «Кругосветное плавание парусного учебного судна «Мир» в 2022–2023 годах», дискуссии «Цифровая логистика 2021–2024–2030: от трансформации компаний к лидерству всей транспортной отрасли» и «Инфраструктура vs Тариф. Поиск конструктивных решений», а также Заседание Комиссии Государственного совета Российской Федерации по направлению «Транспорт».

Во второй день в рамках международной форсайт-дискуссии «Беспилотный транспорт: будущее наступило, готовы ли мы?» обсуждались вопросы безопасности движения при создании беспилотных логистических коридоров, коммерциализации цифровой инфраструктуры, обеспечения защиты персональных данных. Также состоялись четыре отраслевые конференции, две панельные дискуссии, круглый стол, презентация исследования об актуальном состоянии, перспективах развития и преимуществах применения беспилотных авиационных систем в Российской Федерации. Также в этот день прошло расширенное Заседание Комитета Государственной Думы Российской Федерации по транспорту и развитию транспортной инфраструктуры.



В заключительный день, 18 ноября, прошла панельная дискуссия «Зелёная повестка транспортной отрасли», где рассматривались перспективы реализации механизмов «зелёного» финансирования в транспортной отрасли, её трансформации в условиях перехода к низкоуглеродной экономике и меры, необходимые для стимулирования развития экологически чистого транспорта. Состоялась конференция «Научное сопровождение развития транспорта: инновационные тренды», выездная сессия Красноярского экономического форума «Транспортный каркас Сибири», круглый стол, посвящённый общественному транспорту и три отраслевые конференции.

Закрывает деловую программу итоговая пленарная дискуссия. Предваряла её церемония награждения победителей премии «Формула движения». В ходе дискуссии заместители министра транспорта Кирилл Богданов, Игорь Чалик и Александр Суханов, заместитель руководителя Росморречфлота Константин Анисимов и директор Департамента международного сотрудничества Алексей Сапетко обобщили итоги дискуссий по проблематике развития основных видов сообщения, прошедших на полях «Транспорта России», и сформулировали задачи транспортного комплекса на ближайший год. Кирилл Богданов напомнил, что недавно была разработана и принята Стратегия цифровой трансформации транспортной отрасли,

в которую вошли шесть основных цифровых инициатив: беспилотники на всех видах транспорта (беспилотные такси, беспилотные грузовые перевозки, автономное судовождение, дроны, беспилотные железнодорожные локомотивы), «зелёный» цифровой коридор пассажира, бесшовная грузовая логистика, цифровое управление транспортной отраслью, цифровизация транспортной безопасности, цифровые двойники объектов транспортной инфраструктуры. Игорь Чалик рассказал о единой дальневосточной авиакомпании и в завершение дискуссии подвёл итоги XV Международного форума «Транспорт России». «Решения, которые приняты на пленарных заседаниях, безусловно, окажут влияние на жизнь каждого из нас и в целом на транспортную отрасль», – заявил заместитель министра.

На основе материалов и пресс-релизов Министерства транспорта Российской Федерации и оператора мероприятия ООО «ЛидерКонгресс»: <https://2021.transweek.digital/2021/ru/media/organizationaly-podveli-itogi-xv-mezhdunarodnogo-foruma-i-vystavki-transport-rossii/>; <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10105>.

Фотографии с сайта мероприятия <https://2021.transweek.digital/2021/ru> ●



TRANSPORT OF RUSSIA: 15th INTERNATIONAL FORUM AND EXPOSITION

The 15th anniversary International Forum and Exposition «Transport of Russia», organised by the Ministry of Transport of the Russian Federation, were held in Moscow from 16 to 18 November 2021 as part of the «Transport Week».

This year's topic was «Transport of Russia – 2035. From Strategy to Implementation». 27 business formats were attended by 1189 visitors from 15 countries, and more than 300 speakers made presentations on the topical issues of the industry development. 31 agreements on cooperation and interaction were signed on the side-lines of the event. It was possible to follow all open business sessions online, for three days the number of views of online broadcasts had amounted to 232 thousand.

More than 90 exhibitors included the leading actors on the transport market. Visitors could see here current innovative developments of the industry.

The business program of the Forum was opened by the plenary discussion «Transport of Russia – 2035. From Strategy to Implementation». At its opening Igor Levitin, Assistant to the

President of the Russian Federation, read out a welcoming address to the forum participants from the President Vladimir Putin.

The business programme of the first day was continued by the round table «Inauguration by Higher School of Economics and Russian University of Transport of the joint Undergraduate Educational Programme in Transport Economics and Transport Engineering», the conferences «Digitalisation of Urban Transport Systems Management Processes: Safety, Quality and Efficiency» and «Round-the-World Voyage of the Sailing Training Vessel Mir in 2022–2023», the discussions «Digital Logistics 2021–2024–2030: From the Transformation of Companies to the Leadership of the Entire Transport Industry» and «Infrastructure vs Tariff: Search for Meaningful Solutions», as well as the meeting of the Transport Commission of the State Council of the Russian Federation.

During the second day, the international foresight discussion on the topic of «Unmanned Vehicles: the Future Has Come, Are We Ready?» covered traffic safety issues referred to unmanned logistics corridors, commercialisation of digital



infrastructure, and protection of personal data. There were also 4 industry conferences, 2 panel discussions, a round table, a presentation of a study on the current state, development prospects and advantages of using unmanned aircraft systems in the Russian Federation. Also, the agenda of this day comprised an extended meeting of the State Duma Committee on Transport and Development of Transport Infrastructure.

On the final day, November 18, a panel discussion on «Green Agenda of the Transport Industry» considered the prospects for implementing green financing mechanisms in the transport industry, its transformation in the context of the transition to a low-carbon economy and the measures necessary to stimulate the development of environmentally friendly transport. The agenda also included a conference «Scientific Contribution to the Development of Transport: Innovative Trends», the visiting session of the Krasnoyarsk Economic Forum «Transport Framework of Siberia», a round table dedicated to public transport and 3 industry conferences.

The final plenary discussion closed the business program. It was preceded by the ceremony of handing the «Formula of Movement» awards. During the discussion, Kirill Bogdanov, Igor Chalik and Alexander Sukhanov; Deputy Ministers of Transport, Konstantin Anisimov, Deputy Head of the Federal Agency of Sea and River Transport, and Alexey Sapetko, Director of the Ministry of Transport Department of International Cooperation Alexey Sapetko

summarised the results of discussions on the development of transport and transportation held in the framework of the event and formulated the tasks of the national transport system for the coming year. Kirill Bogdanov recalled that the recently developed and adopted Strategy for the Digital Transformation of the Transport Industry included six main digital initiatives: drones' use in all modes of transport (unmanned taxi, unmanned cargo transportation, autonomous navigation, UAVs, driverless railway locomotives), a «green» digital corridor for passengers, seamless freight logistics, digital management of the transport industry, digitalisation of transport safety, digital twins of transport infrastructure facilities. Igor Chalik spoke about the single Far Eastern airline and closing the plenary discussion summed up the results of the 15th Transport of Russia International Forum and Exposition. «The decisions taken at plenary sessions will certainly have an impact on the life of each of us and the transport industry as a whole», the deputy minister said.

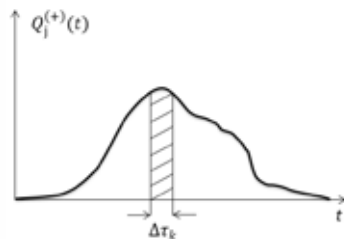
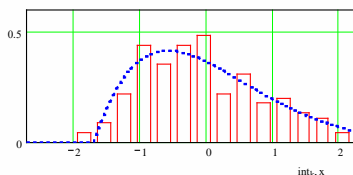
Compiled based on materials and press releases of the Ministry of Transport of the Russian Federation and the operator of the event LeaderCongress LLC: <https://2021.transweek.digital/2021/ru/media/organizatory-podveli-itogi-xv-mezhdunarodnogo-foruma-i-vystavki-transport-rossii/>; <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10105>.

Photos of the event website <https://2021.transweek.digital/2021/ru> ●



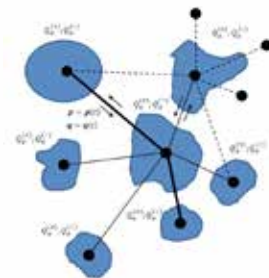
**AUTONOMOUS
DRIVING** **134**

Driverless vehicles have already become part of our life. To ensure safety of their running, digital twins, machine vision, technology are being actively developing allowing to identify the distance to the obstacles. Accuracy is particularly needed in measuring distance itself and stopping distance. What are permissible errors there-of? The study proposes certain evaluation models.



**MODEL
OF TRANSPORT
BEHAVIOUR** **141**

Is it possible to describe motifs and decisions of a passenger to make a trip, to choose a nide of transport and a route? And how is it possible? Is it feasible to build a mathematical model of transport behaviour? Previously suggested approach has got its development in a new study.



THEORY





Errors in Measuring the Distance to an Obstacle by Technical Vision Means and in Forecasting Braking Distance in Driverless Train Control Systems



Leonid A. BARANOV



Petr F. BESTEMYANOV



Ekaterina P. BALAKINA



Andrey L. OKHOTNIKOV

Leonid A. Baranov¹, Petr F. Bestemyanov², Ekaterina P. Balakina³, Andrey L. Okhotnikov⁴

^{1, 2, 3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

⁴ Research and Design Institute of Railway Informatisation, Automation and Communications (JSC NIAS), Moscow, Russia.

✉ ³ balakina_e@list.ru.

ABSTRACT

Technical vision systems are sources of information about an obstacle on the track in the case of driverless train control. Based on the information received, the traffic control system decides to turn on the braking mode to prevent a collision with an obstacle.

In accordance with international and domestic expertise and standard ratings, it is necessary to ensure the probability of a dangerous failure, in this case, the probability of hitting an obstacle, not more than 10^{-5} with a confidence probability of 0.95 according to SIL-4 ([Russian state standard] GOST-R61508). Considering the presence of an error in measuring the distance to an obstacle by the technical vision system and an error in calculating the stopping distance, it is required to determine the coordinate of the braking start point when an object is detected on the track in such a way as to ensure that the train stops before the obstacle with a probability determined in accordance with SIL-4.

A feature of the problem being solved for estimating the errors in measuring the distance to an obstacle and calculating the stopping distance implies the need to determine the estimates of their maximum values and to develop an algorithm for using these estimates in such a way that the collision probability does not exceed the normalised value.

A technique is described for determining the maximum value of the error in measuring the distance to the obstacle, the probability of exceeding which is quite small (from 10^{-2} to 10^{-6}). A proposed algorithm for multiple measurements of the distance to an obstacle allows choosing the minimum measurement result for deciding on the start of braking, which ensures meeting standard indicator of a probability of a train colliding with an obstacle according to SIL-4. A method for estimating the error in calculating the stopping distance has been developed, which, together with the algorithm of multiple measurements by the technical vision system of the distance to the obstacle, provides the standard indicator according to SIL-4. The need for the second channel of technical vision due to the presence of curves along the route is shown. The necessity of using algorithms for multiple measurements to an obstacle through the second channel located outside the train is also substantiated. It is noted that the methods described in this article for choosing the maximum values of random errors in measurements and calculations, the values of which can be exceeded with a very low probability, can be used to solve various applied problems of traffic control in transportation processes.

Keywords: transport, technical vision, error in measuring the distance to an obstacle, autonomous traffic control systems, calculation of the stopping distance, error estimation.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, NTU Sirius, JSC Russian Railways, and the Talent and Success Educational Foundation within the framework of research project No. 20-37-51001.

For citation: Baranov, L. A., Bestemyanov, P. F., Balakina, E. P., Okhotnikov, A. L. Errors in Measuring the Distance to an Obstacle by Technical Vision Means and in Forecasting Braking Distance in Driverless Train Control Systems. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The most important function of an automatic intelligent transport system is the perception of the environment and the ability to detect the presence of obstacles, including in the process of movement as well [1–3]. Hence the main areas of application of technical vision are visual control and robotic vision [1; 4]. To solve the problems of detecting obstacles, many approaches are used in these areas. The most superficial approaches refer to «qualitative» algorithms, their feedback contains only «yes»/«no» answers regarding the presence of obstacles in the field of view [5]. Another common approach to obstacle detection refers to analytical and statistical methods that involve motion estimation and development of maps based on statistical information [6]. In recent years, most algorithms have begun to use stereo vision or 2D/3D sensor technology. Their main advantage is the ability to determine various parameters of the obstacle, for example, the height of the obstacle above the ground and the distance to it [5; 7; 8]. Stereo vision is based on spectral analysis methods [9], genetic algorithms and neural networks [10].

In driverless train traffic control systems, technical vision is used to prevent a moving train from colliding with an obstacle on the way [11]. The control device receives information about the distance to the obstacle and, at a fixed distance, generates a command to trigger an audible warning signal so that the obstacle is removed. In the case that the obstacle is at a distance equal to the distance of the service brake application (or emergency stopping), a braking start command is generated. The objective of safe control is to ensure that the train stops before the obstacle. The moment of formation of the braking command is selected from the condition of equality of the calculated stopping distance S_{stop} of a train moving at a speed V to the distance measured by the vision system to the obstacle:

$$S_{\text{stop}}(V) = L_{\text{measur}}. \quad (1)$$

At the same time, the calculated value of the stopping distance $S_{\text{stop}}(V)$ may differ from the real one due to the always existing simplifications in the train model used in the calculation, to the presence of random perturbations that lead to a change in the resistance to train movement, to errors in setting track's horizontal alignment and profile in the zone of movement, etc. Measuring the distance to the obstacle in the technical vision system is also implemented with a random error.

Let $\Delta S_{\text{stop}}(V)$ and ΔL are absolute errors in calculating the stopping distance and measuring the distance to the obstacle, respectively; $S_{\text{stop}}(V)$ and L_0 are the actual values of the stopping distance and the distance to the obstacle, respectively. Then, proceeding from the safety condition, the choice of the braking start moment is determined as:

$$S_{\text{stop}}(V) = L_0, \quad (2)$$

and the expression (1) is transformed as follows:

$$S_{\text{stop}}(V) + S_{\text{stop}}(V) \leq L_0 + \Delta L. \quad (3)$$

From the point of view of traffic safety, the worst situation is when $\Delta S_{\text{stop}}(V) < 0$, $\Delta L > 0$, i.e., if condition (1) is met, while the calculated stopping distance is less than the really accomplished one, and the measured distance to the object is greater than the real one, the train will collide with an obstacle. Hence, the upper estimate of the probability of a collision between a train and an obstacle, given the distribution laws of the probability density of random variables $\Delta S_{\text{stop}}(V)$ and $\Delta L(L)$, with known V and L , is:

$$P_{\text{col}}(V, L) = \int_{-\infty}^0 f(\Delta S_{\text{stop}} | V) d\Delta S_{\text{stop}}(V) \int_0^{\infty} f(\Delta L | L) d\Delta L, \quad (4)$$

where $f(\Delta S_{\text{stop}} | V)$ and $f(\Delta L | L)$ are distribution functions of conditional probability densities $\Delta S_{\text{stop}}(V)$ and $\Delta L(L)$. This estimate can be adjusted by determining, with known probability density functions of statistically independent random variables $\Delta S_{\text{stop}} | V$ and $\Delta L(L)$, the probability density distribution function $\phi(z)$ of the random variable $Z = \Delta S_{\text{stop}} + \Delta L$ at fixed V and L .

Then:

$$P_{\text{col}} = \int_0^{\infty} \phi(z | V, L) dz.$$

This value can be estimated again from above:

$$P_{\text{max.col}} = \max P_{\text{col}}(V, L). \quad (5)$$

Determining the probability density distribution functions based on the results of processing the results of numerous calculations and measurements, when estimates of the probability of a dangerous situation of the order of 10^{-4} – 10^{-8} are significant, require high reliability in the description of the «tails» of distributions, which is known to be difficult. Therefore, in this work, while the objective was to solve the problem of evaluation of the errors of measuring the distance to an obstacle and of stopping distance, to determine estimates of their maximum values and to develop an algorithm to use this estimate so that the probability of collision does not exceed the standard value, we have used a different method for solving the problem.



To reduce the probability of a train collision with an obstacle, a well-known technique can be used, replacing the expression in the conditions of generation of a command to start braking by the following:

$$S_{\text{stop}}(V) + \Delta S_{\text{max}} = L_{\text{measur}} - \Delta L_{\text{max}}, \quad (6)$$

where $\Delta S_{\text{max}} = \max \Delta S_{\text{stop}}(V)$ is the maximum value of the modulus of negative calculation error and $\Delta L_{\text{max}} = \max \Delta L_0(L)$ is the maximum value of positive measurement error.

In substance, this condition determines the length of the «protective section of the track» in front of the obstacle, which, as will be shown below, will be able to ensure the required safety indicator. At the same time, determination of the values $S_{\text{stop max}}$ and ΔL_{max} is also associated with probabilistic estimates of these values, which, in turn, determine the estimate of the probability of a train colliding with an obstacle. A feature of solving this problem is that the admissible safety estimates are determined by very small values.

The choice of the maximum values of random variables with always existing constraints on the number of trials is a task of probability theory and mathematical statistics. A feature of using this mathematical apparatus for the problem being solved is the small admissible probability of exceeding by the value of a random variable of its chosen maximum value [12].

Under conditions when the length of the protective section is chosen equal to $S_{\text{max}} + \Delta L_{\text{max}}$, a collision is possible when the sum of the errors exceeds the sum of the maximum values of these errors, selected with a calculated probability at a fixed confidence interval. Therefore, the probability of a dangerous situation $P_{\text{max col}}$ can be subject to upper estimate as the product of the probabilities of events $\Delta S_{\text{stop}}(V) > S_{\text{max}}$ and $\Delta L(L) > L_{\text{max}}$:

$$P_{\text{max col}} < P[(\Delta S_{\text{brake}}(V)) > S_{\text{stop max}}] \cdot P[\Delta L(L) > \Delta L_{\text{max}}]. \quad (7)$$

It should be noted that the problem of choosing the length of the «protective» section according to the given admissible probability of a dangerous event also requires its solution when analysing systems for ensuring man-driven train traffic safety on hauls [13].

RESULTS

Method for Estimating the Maximum Measurement Error

Let us consider an approach to estimating the maximum error $\Delta L_{\text{max}}(L)$ when determining the

distance between a moving train and an object on the track. Knowing the maximum error allows choosing the starting point of braking of a moving train, which ensures, with a given normalised probability, that the train does not collide with an obstacle. Information about the random value of the distance measurement error is contained in the distribution law of the probability density of this value, obtained from the results of statistical processing of experimental data [14]. Since the probability of an outcome is allowed with a probability of 10^{-8} (within Safety Integrity Level-4, SIL-4), then determining the probability of the maximum error value under these conditions corresponds to the «tails» of the distribution. An approximate method for determining the confidence interval for a probability based on replacing the frequency distribution law with a Gaussian one is not applicable, since the probabilities are very small. Under these conditions, the following method can be used [12]. Let, following n experiments, the value of the error ΔL_{max} has never been fixed. We denote this event as B . It is required to find the maximum value of the probability that $\Delta L > L_{\text{max}}$, which is compatible with the event B observed in the experiment.

Let us introduce the notation: p – the probability that $\Delta L > \Delta L_{\text{max}}$, p_m – the maximum value of p . The confidence interval range for p is $0 \leq p \leq p_m$. Those values of p for which the probability of the event B is less than $\lambda = 1 - \beta$, where β is the confidence interval, are incompatible with the event observed in the experiment.

For any probability p , the probability that for n measurements there was no result $\Delta L > \Delta L_{\text{max}}$ is determined by the expression $P(B) = (1 - p)^n$. For $P(B) = \lambda$ we get the equation for p_{max} :

$$(1 - p_{\text{max}})^n = 1 - \beta. \quad \text{Hence:} \quad p_{\text{max}} = 1 - \sqrt[n]{1 - \beta}. \quad (8)$$

Given the admissible probabilities that the error $\Delta L \geq \Delta L_{\text{max}}$ and the confidence interval β it is possible to obtain from (8) what number (n) of experiments in which the event $\Delta L > \Delta L_{\text{max}}$ has never been observed, should be carried out to consider the value of p_{max} not contradicting the results experiment:

$$n = \frac{\lg(1 - \beta)}{\lg(1 - p_{\text{max}})}.$$

The results of calculating the number of experiments with rounding to a larger integer for $\beta = 0,9; 0,99; 0,999$ and $p_{\text{max}} = 10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-6}$ are summarised in Table 1.

Table 1

The number of experiments (n) to determine p_{max} with the set confidence interval [developed by the authors]

| $p_{max} = 10^{-2}$ | | $p_{max} = 10^{-4}$ | | $p_{max} = 10^{-6}$ | |
|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| n | β | n | β | n | β |
| 229 | 0,9 | 23025 | 0,9 | 2302534 | 0,9 |
| 459 | 0,99 | 46050 | 0,99 | 4605168 | 0,99 |
| 688 | 0,999 | 69075 | 0,999 | 6907752 | 0,999 |

As follows from the data in the Table 1, it is advisable to conduct a number of experiments to select ΔL_{max} at $p_{max} = 10^{-2}$ at $\beta = 0,9; 0,99; 0,999$ and to justify safety conditions by choosing an algorithm using the value of ΔL_{max} at $p_{max} = 10^{-2}$.

Let the distance to the obstacle be measured twice at some point of the track: the first time the result of measurement is L_1 , the second time the result of measurement is L_2 . In each of these results, the probability that the measurement error exceeds ΔL_{max} is $p_{max} = 10^{-2}$ at a fixed confidence interval. Then the probability that in both cases the error exceeds ΔL_{max} is $p_{max} = 10^{-4}$. If we select the smallest value out of L_1 and L_2 and use this value to make a decision on braking, we can already justify the choice of ΔL_{max} with a probability of exceeding 10^{-4} . Similarly, when using three measurements, $p^3_{max} = 10^{-6}$. To meet the requirements of SIL-4, the number of measurements is 4. Thus, using several measurements distributed over time in decision making reduces the likelihood of a dangerous situation. Obviously, knowing duration of one measurement and speed of a moving object, the value of ΔL_{max} increases by the length of the distance travelled by this object during k measurements.

Let's consider an example. Let it be known that as a result of 459 tests, the maximum error did not exceed 20 % of the measured distance. The maximum measurable distance is 2 km. Then $\Delta L_{max} = 400$ m and the probability that the error will exceed this value in accordance with the data in Table 1 with a confidence interval of 0,99 is $p_{max} = 10^{-2}$. If we choose the smallest of the values out of the results of three measurements, then the probability that $\Delta L_{max} > 400$ m is 10^{-6} . Obviously, in this example, the maximum measurable distance exceeds the stopping distance of the train moving at the maximum allowable speed.

An additional way to reduce the probability of collision is to use the second measurement channel. In this case, the minimum measured distance to the object is selected out of multiple

measurements through each of the channels. Let, for example, through each of the two channels, the results of two measurements are used at $p_{max} = 10^{-2}$. Then the choice of ΔL_{max} is ensured with the probability that the real error will exceed ΔL_{max} is 10^{-8} .

It should be noted that the presence of the second technical vision channel, the equipment of which is located outside the train, is also necessary because on-board devices do not see obstacles if there are curves on a section. In this case, the admissible probability of a dangerous situation should be provided by the algorithm described above with k measurements through the second channel.

Estimates of the Maximum Error in Calculating the Train Stopping Distance

A significant number of experimental and theoretical studies have been devoted to the analysis of the accuracy of target braking. Theoretical studies, as a rule, used mathematical modelling, in particular, simulation methods. In these studies [14–17], the train was simulated through its well-known mathematical models used in traction calculations, when analysing the braking process in long-haul heavy trains with distributed traction. Various control laws were modelled, implemented in the feedback of target braking systems belonging to the class of terminal systems [14–16; 18]. Target braking systems ensured that the train stopped with a given accuracy at a certain point on the track. Particularly high requirements are placed on such systems regarding metro, when it is required to stop the train in front of a fixed point with an error not exceeding 20 cm. It is required also to ensure minimum braking time since if this time is 1 sec longer within the set travel time along the haul, it increases the energy consumption for traction by about 1 %. On mainline railways, a similar error can attain 5 m. In traffic safety systems, in which the task of «avoiding a collision with obstacles» is solved, it is required, first, when an obstacle is detected, to ensure that the train stops before this



obstacle, possibly even at a reasonably acceptable distance.

Target braking systems must provide a given stopping accuracy regarding a variety of track profile types located in front of the stopping point.

In some situations, it becomes necessary to apply emergency braking system. In this case, the maximum permissible braking force is used, the control system becomes open-loop system. The main requirement is to ensure the minimum length of the stopping distance.

To consider the influence of disturbances on the magnitude of the error in implementation of a given stopping distance, simulation methods were used, in particular, the method of statistical tests (Monte Carlo method). At the same time, a random value of the error of the measured speed used in the feedback of the target braking comparison system, random deviations of the value of additional resistance to movement from the calculated one are simulated. It should be noted that the additional resistance to movement, as a rule, is much less than the braking force, and its variations have an undesirable effect on the accuracy of the target stopping. In statistical modelling, different sets of track profile and horizontal alignment are selected. In the problem considered in this article, it is possible to set the «worst» track profile from the point of view of safety conditions. This reduces the amount of statistical testing.

When choosing stochastic models of random variables, there is always the question of substantiating not only their probability density distribution functions, but also of substantiating the range of changes in these variables. In particular, the range of change in the speed measurement error can be selected from the technical characteristics of the measurement channel, determined by the manufacturer under the conditions of using devices in good condition. At the same time, it is necessary to stipulate the measures regarding possible involvement of anomalous errors and the set of measures to parry them. For example, they may include the presence of several measurement channels and methods for diagnosing these channels, the presence of anti-skid systems, methods for adjustment of the measured path travelled by the train, etc. It should be noted that the existing experience in the operation of automatic target braking systems, many years of experience in comparing real parameters of train movement

with the results of traction calculations, indicate the adequacy of models describing the movement of a train to real processes. The existence of instructions and rules for traction calculations, verification of the software for these calculations, allows us to consider these models as digital twins of trains.

We will consider the normal value of the stopping distance calculation result to be the value obtained under the assumption that all parameters of the mathematical model are determined accurately. The stopping distance calculation error is the difference between the nominal value and the braking distance calculated when the model parameters deviate from the given ones. Let us present the results of the analysis of the influence of measurement errors in the speed measurement channel on the magnitude of the error in calculating the stopping distance [15]. In simulation experiments, it is assumed that the maximum error in measuring the train speed does not exceed a tenth of the current speed value, the probability density distribution function of a random variable is the law of uniform probability density with zero mathematical expectation. Then:

$$\Delta V = 0,1V(\text{rnd}(2) - 1), \quad (9)$$

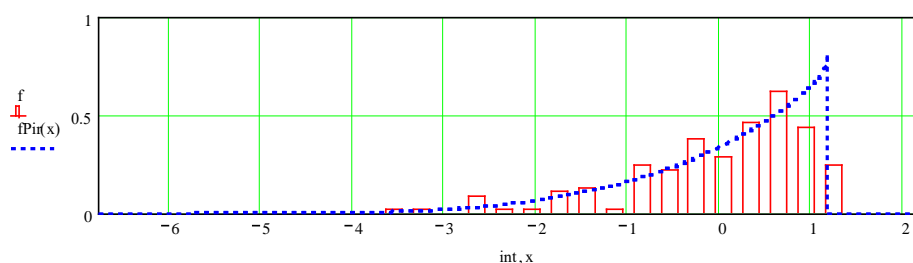
where V is train speed; ΔV is speed measurement error;

$\text{rnd}(2)$ is a function to generate evenly distributed numbers in the range from 0 to 2.

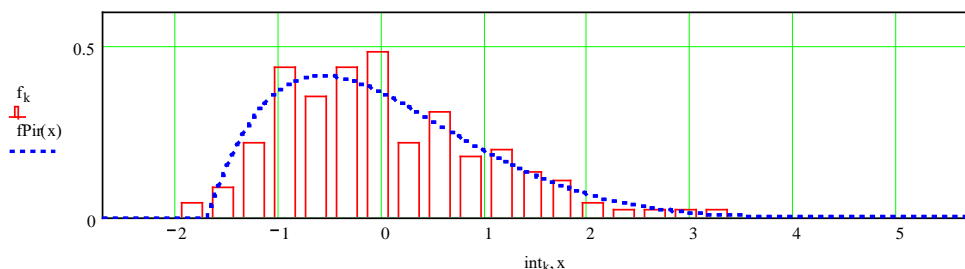
The results of simulation experiments were obtained for suburban train models equipped with braking control systems with different control laws [15; 16].

For each of these models, based on the results of at least 200 simulation experiments, histograms of the relative error frequencies were constructed (Pics. 1; 2), the distribution laws for probability density of errors in the calculation of the stopping distance were proposed; in accordance with the Pearson criterion χ^2 , it was shown that the chosen laws of density distribution of the probabilities do not contradict the results of the experiment.

The resulting statistics is described by the Pearson type I distribution. When building a braking control system based on acceleration [16], the experimentally observed range of measurement errors in calculating the stopping distance was $-3\text{m} \leq \Delta S_{\text{stop}} \leq 1,5\text{ m}$; when building a braking control system based on speed [15] it was $-2\text{m} \leq \Delta S_{\text{stop}} \leq 3,5\text{ m}$. The number of simulation experiments carried out and sufficient to determine the distribution law of the probability density of a



Pic. 1.



Pic. 2.

random variable of the error in calculating the stopping distance does not allow us to assert with the necessary probability required by international standards that the random variable is within this range. Therefore, it is additionally necessary to increase the number of simulation experiments in accordance with the data in Table 1, for example, to increase their number to 229, to state with a probability of 10^{-2} and a confidence interval of 0,9 that the maximum modulo value of the negative value of the error in calculating the stopping distance will not exceed 3 m (Pic. 1) when using speed braking control systems. For the same statement with a probability of 10^{-4} and a confidence interval of 0,9, it is necessary (see Table 1) that 46050 simulation experiments are carried out.

To reduce the number of experiments, another approach is possible, also using modern computer technology. With a known mathematical model of the object, it is required to solve the optimisation problem of minimising the module of the negative value of the error in calculating the stopping distance for given areas of determination of variables that affect the results of the calculation. This approach, due to the limited volume, is not considered within the scope of this article.

The set of results that allow, with a given probability, to determine the limiting values of the error in measuring the distance to an obstacle

and predicting the stopping distance, make it possible to develop algorithms for operation of the safety system and to justify its compliance with international requirements.

CONCLUSIONS

1. When building driverless traffic control systems, it is necessary to ensure that the train stops in front of an obstacle that appears on the way. This function must be implemented with a probability close to one. In accordance with international standards, the permissible probability of a dangerous situation is 10^{-8} for SIL-4. Technical vision systems are used as an obstacle sensor. To fulfil the required safety conditions, it is necessary to use the algorithm of multiple measurements of the distance to the obstacle with the choice of the minimum measurement result to decide on the start of braking.

2. Given the presence of curves along the route, which leads to the impossibility of indicating an obstacle by the onboard technical vision system, it is necessary to have the second vision channel with equipment located outside the locomotive. It is also necessary to use multiple measurements of the distance to the obstacle through this channel.

3. The choice of the number of measurements through each channel to justify the unconditional



fulfilment of the safety indicator is not carried out according to the methodology considered in this paper.

4. The length of the protective gap in front of the obstacle is equal to the sum of the maximum modulo value of the negative error in calculating the stopping distance and the maximum value of the positive value of the error in measuring the distance to the obstacle. The choice of these values is determined by the requirements of unconditional fulfilment of safety standards.

5. The methods under consideration for choosing the maximum values of random errors in measurements and calculations, with a very low probability to exceed their values, corresponding to the «tails» of the probability density functions, can be used in solving various applied problems of traffic control in transportation processes.

REFERENCES

1. Matthies, Larry. Obstacle Detection, 2014. In: Ikeuchi, K. (eds). *Computer Vision*. Springer, Boston, Ma. DOI: 10.1007/978-0-387-31439-6_52.
2. Jain, R., Tamgade, P., Swaroopa, R., Bhure, P., Shahu, S., Pote, R. Simulation of Obstacle Detection of an Autonomous Car. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 2021, pp. 430–435. DOI: 10.48175/IJARSCT-1420.
3. Asuka, Masashi; Kataoka, Kenji; Komaya, Kiyotoshi; Nishida, Syogo. Automatic Train Operation Using Autonomic Prediction of Train Runs. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2008, Vol. 128, pp. 1365–1372. DOI: 10.1541/ieejias.128.1365.
4. Chen Zhang; Xuewu Xu; Chen Fan; Guoping Wang. Literature Review of Machine Vision in Application Field. *E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 236, pp. 04027. DOI: 202123604027.
5. Zhongfei Zhang, Weiss, R., Hanson, A. R. Obstacle detection based on qualitative and quantitative 3D reconstruction. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, Vol. 19, pp. 15–26. DOI: 10.1109/34.566807.
6. Feiden, D., Tetzlaff, R. Cellular neural networks for motion estimation and obstacle detection. *Advances in Radio Science*, 2003, Vol. 1, pp. 143–147. DOI: 10.5194/ars-1-143-2003.
7. Lourenço, A., Marques, F., Santana, P., Barata, J. A Volumetric Representation for Obstacle Detection in Vegetated Terrain, 2014. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, IEEE ROBIO 2014. DOI: 10.1109/ROBIO.2014.7090344.
8. Bernini, N., Bertozzi, M., Castangia, L., Patander, M., Sabbatelli, M. Real-Time Obstacle Detection Using Stereo Vision for Autonomous Ground Vehicles: A Survey, 2014. 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2014. DOI: 10.1109/ITSC.2014.6957799.
9. Takahashi, Katsuhiko. Obstacle detection device and method and obstacle detection system, 2014. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/302747500_Obstacle_detection_device_and_method_and_obstacle_detection_system. Last accessed 16.11.2021.
10. Khan, Umair; Fasih, Alireza; Kyamaky, Kyandoghere; Chedjou, J. Genetic Algorithm Based Template Optimization for a Vision System: Obstacle Detection, 2009. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/228347428_Genetic_Algorithm_Based_Template_Optimization_for_a_Vision_System_Obstacle_Detection/. Last accessed 16.11.2021.
11. Okhotnikov, A. L., Chernin, M. A. Development of systems for autonomous rolling stock [Razrabotka sistem dlya avtonomnogo podvizhnogo sostava]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2001, Iss. 11, pp. 21–24. DOI: 10.34649/AT.2021.11.11.006.
12. Ventzel, E. S. Probability Theory: Textbook [Teoriya veroyatnostei: Uchebnik]. 12th ed., ster. Moscow, Yustitsiya publ., 2018, 658 p. ISBN 978-5-4365-1927-2.
13. Baranov, L. A. Evaluation of Metro Train Succession Time for Safety Systems Based on Radio Channel. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2, pp. 6–24. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/260>. Last accessed 16.11.2021.
14. Baranov, L. A., Golovicher, Ya. M., Erofeev, E. V., Maksimov, V. M. Microprocessor-based automatic control systems for electric rolling stock [Mikroprotsessornye sistemy avtovedeniya elektropodvizhnogo sostava]. Ed. by Baranov, L. A. Moscow, Transport publ., 1990, 272 p. ISBN 5-277-00964-7.
15. Bestemyanov, P. F. Methods for improving safety of microprocessor systems for interval regulation of train traffic. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Metody povysheniya bezopasnosti mikroprotsessornykh sistem intervalnogo regulirovaniya dvizheniya poezdov. Avtoref. dis... dok. tekhn. nauk]. Moscow, MIIT publ., 2001, 48 p.
16. Nikiforov, B. D., Golovin, V. I., Kutiev, Yu. G. Automation of train traffic control [Avomatizatsiya upravleniya dvizheniem poezdov]. Moscow, Transport publ., 1985, 263 p.
17. Pudovikov, O. E., Kiselev, M. D. Optimization of Parameters of Automatic Speed Control System of a Freight Train with Distributed Traction. *Russian Electrical Engineering*, 2020, Vol. 91, No. 9, pp. 568–576. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45136886>. Last accessed 16.11.2021.
18. Batenko, A. P. Control of the finite state of moving objects [Upravlenie konechnym sostoyaniem dvizhushchikhsya ob'ektov]. Moscow, Sov. Radio publ., 1977, 256 p. ●

Information about the authors:

Baranov, Leonid A., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Control and Protection of Information of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Baranov.mii@gmail.com.

Bestemyanov, Petr F., D.Sc. (Eng), Professor, Director of the Institute of Transport Vehicles and Control Systems of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ilemsmiit@yandex.ru.

Balakina, Ekaterina P., Ph.D. (Eng), Associate Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, balakina_e@list.ru.

Okhotnikov, Andrey L., Deputy Head of the Department – Head of the Department of Strategic Planning of Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communications in Railway Transport (JSC NIIAS), Moscow, Russia, a.okhotnikov@vnias.ru.

Article received 16.11.2021, approved 23.12.2021, accepted 27.12.2021.



Mathematical Model of Transport Behaviour Based on Transport Macrosystems Theory



Igor E. AGUREEV



Andrey V. AKHROMESHIN

**Igor E. Agureev¹,
Andrey V. Akhromeshin²**

^{1, 2} Tula State University, Tula, Russia.

✉ ¹agureev-igor@yandex.ru.

ABSTRACT

Continuing the study, the purpose of which was to develop a new approach to determining the transport behaviour of residents of urban agglomerations, to outline the main ways of its development, a new description of transport behaviour is proposed based on various scientific disciplines and the theory of macrosystems.

This, according to the authors, will make contribution to laying the foundation for creation of a currently missing theory of transport behaviour.

A developed mathematical model of transport behaviour based on the provisions of academician Yu. S. Popkov's theory

of macrosystems, uses the entropy approach to determine the equilibrium state of the transport system. At the same time, the model identifies an initial list of parameters responsible for describing the «transport behaviour». The latter is considered as a collective phenomenon that creates a deterministic representation resulting from interaction of many stochastically acting elements (road users). A compiled preliminary scheme can be used to solve the problem of finding unknowns in the system of equations and inequalities within the model.

Keywords: transport system, macrosystems theory, transport behaviour, mathematical model, entropy approach.

Acknowledgements. This work was supported by the grant of Russian Foundation for Basic Research 19-48-710015\20 r_a.

For citation: Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. Mathematical Model of Transport Behaviour Based on Transport Macrosystems Theory. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 141–146. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-2>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

Problem Statement

The article [1] presented a new approach to definition of the transport behaviour of the population of urban agglomerations, outlined the main routes of the development of the topic, and proposed a «new approach to describing transport behaviour from the standpoint of various scientific disciplines, of the theory of macrosystems, which lays the basis for creating the theory of transport behaviour that is currently missing» [1]. The objective implies that «the study of transport behaviour is carried out at the level of the «system as a whole», and not of its individual elements, which makes it possible to form general approaches to management of transport behaviour to achieve optimal characteristics of functioning of the transport system of a city (agglomeration). The mathematical description of the transport system, presented in the work, has a general form, requires expansion and addition» [1].

The construction of mathematical models based on the theory of macrosystems, assuming that any transport system is a multicomponent heterogeneous open system, «has scientific novelty and is promising to be further studied and implemented in the transport industry. An urgent task on this path is to study the nature of collective behaviour from the standpoint of the influence of motives when deciding on a trip and of the emergence of spatial structures of movement of passengers and vehicles, i.e., formation of passenger flows and of transport vehicle flows, as well as consideration of the concept of transport behaviour from the point of view of psychology, sociology, and urban studies» [1]. At the same time, construction of an appropriate mathematical model should reflect in a certain manner the features of individual behaviour at the level of the entire system.

This work is a continuation of work [1].

The formation of an idea about movements of the population consists currently of four types of trips [2–5]: «trips from places of residence to places of employment and back (the so-called trips for work purposes); trips from places of residence to cultural and public facilities (shops, etc.) and back; trips between workplaces (business or job trips); trips between cultural and community facilities. The following methods of calculating origin-destination trip matrix are most widely represented in the literature» [2]:

- Normative [standard-based] methods [6].
- Statistical methods [6].
- Gravitational [gravity] model [3].
- Entropy models [4; 5].
- Models of self-organising flows [7].
- Method of competing centres [8].
- Stouffer [Samuel A. Stouffer] intermediate capabilities models [8], etc.

The following conclusions can be drawn from the publications discussed above:

1) Transport behaviour can be considered from various standpoints, namely, from the point of view of factors that determine the choice of a mode of travelling in accordance with certain purposes of a trip.

2) Transport behaviour can be studied by various methods, in particular, the general picture of mobility of individuals by purpose, time, travel distance and mode of transport used is described using the method of connectivity graphs.

3) Collective transport behaviour is the result of interaction of individual transport processes of each of the passengers.

4) There is a constitutive term «pattern of daily individual activity of a passenger», which underlies the study of patterns in the passenger behaviour and is consistent with the concept of a transport system of individual trips (TSIT) proposed earlier by the authors in [1].

5) The expediency of studying transport behaviour with the help of the theory of transport macrosystems is confirmed.

It is important to note that the domestic and foreign scientific literature contains little information about how exactly the passenger decides whether he will make a trip or not, that is, behavioural models are practically not studied.

Brief Information about the Current State of Research on Transport Behaviour [9–14]

«Transport behaviour has a complex nature, the description of this term is associated with the definition of the concepts of «transport mobility (or mobility) of the population» [1].

«Transport behaviour as a phenomenon is distinguished by the following properties that relate to the collective level of its description:

- 1) Stochastic nature.
- 2) Multitude of participants that determine the characteristics of transport behaviour.
- 3) Plurality of factors influencing the choice and shaping the dynamics of the phenomenon.

4) Interdisciplinarity as a knowledge base for the study of the subject. The problem of transport behaviour should also be considered comprehensively, explored not only within the framework of transport science (the theory of passenger transportation), but also of related fields of knowledge, such as: sociology, urban studies, economics» [1], etc.

In this work we are primarily interested in the measurable parameters of transport behaviour, which could be included in the mathematical model as an initial data or be calculated with its help. These parameters should include:

- 1) Factor of splitting of passenger flows by modes of transport within the simulated period of time.
- 2) Factor of splitting of passenger flows by purpose of the trip.
- 3) Distribution of origin-destination trips along specific routes.
- 4) Interchange (transfer) factor.
- 5) Distribution of trips by range (distance).
- 6) Distribution of waiting time for passengers at embarkation/disembarkation points.
- 7) Exchanges of passenger flows at embarkation/disembarkation points as a function of time, etc.

The necessary and sufficient list of parameters that unambiguously characterise the transport behaviour within a mathematical model will have to be identified and substantiated as a result of further research and calculations.

RESULTS

Mathematical Model of Transport Behaviour (Version)

Transport behaviour in its entirety can be described using the mathematical apparatus of macrosystems theory, because the transport behaviour of an individual passenger (as an element of the TSIP) «has a random nature, is practically not subject to description, and in some cases could not be described even logically. The behaviour of a single passenger is a particular case», while «the description of the transport behaviour of groups of passengers is of practical interest for the purposes of management, planning and development of the transport system of a city (agglomeration) to issue practical recommendations» [1].

In the article [1] a mathematical model is given, which describes the transport system regarding the most general case:

$$\left\{ \begin{array}{l} \widetilde{Gr} = \widetilde{Gr}(t); \\ \rho = \rho(t); \\ q = q(t); \\ \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \Delta\tau = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_k; \\ V(t) = \left\{ V_1, \dots, V_a, \dots, V_p : V_a = \sum_{v=1}^{v_f} n_v(t) \mid v \in p_a \right\}; \\ v = 1, \dots, v_f(t); \\ \pi_v = \pi_v(t); \\ P(t) = \{ \pi_1(t), \dots, \pi_\beta(t), \dots, \pi_{v_f}(t) \}; \\ G(t) = g_v \otimes P(t) \leq G^*; \\ H(V \bullet (\Delta\tau_k)) = - \sum_{n=1}^m V_n \ln \frac{V_n}{ap_n} - (G_n + V_n) \ln (G_n + V_n) \rightarrow \max, \end{array} \right. \quad (1)$$

where k is index (individual number) of a time interval $\Delta\tau_k$;

K is total number of time intervals $\Delta\tau_k$;

\widetilde{Gr} is street-road network graph;

ρ is matrix of transport connectivity (connections);

q is matrix of effective carrying (transit) capacities;

t is continuous time;

$V(t)$ is a set, each of the elements of which is equal to the number of cars (vehicles) that are on the route (or participating in origin-destination trip) α at the time t ;

v is car index (its unique identifier);

$v_f = N_a$ is the largest car index corresponding to the number of vehicles at the current time;

p is total number of routes (origin-destination connections);

n_v is Boolean variable, which is determined by relation (2) and equals 1 if the vehicle is on the route p_a and 0 otherwise;

p_a is α -th route;

π_v is equation of the transport process for a car, which determines the share of the completed transport process (transport work);

$P(t)$ is a set consisting of separate equations of the transport process;

β is transport process index;

$G(t)$ is vector function of resource(s) spending;

g_v is vector of specific resource costs for each vehicle;

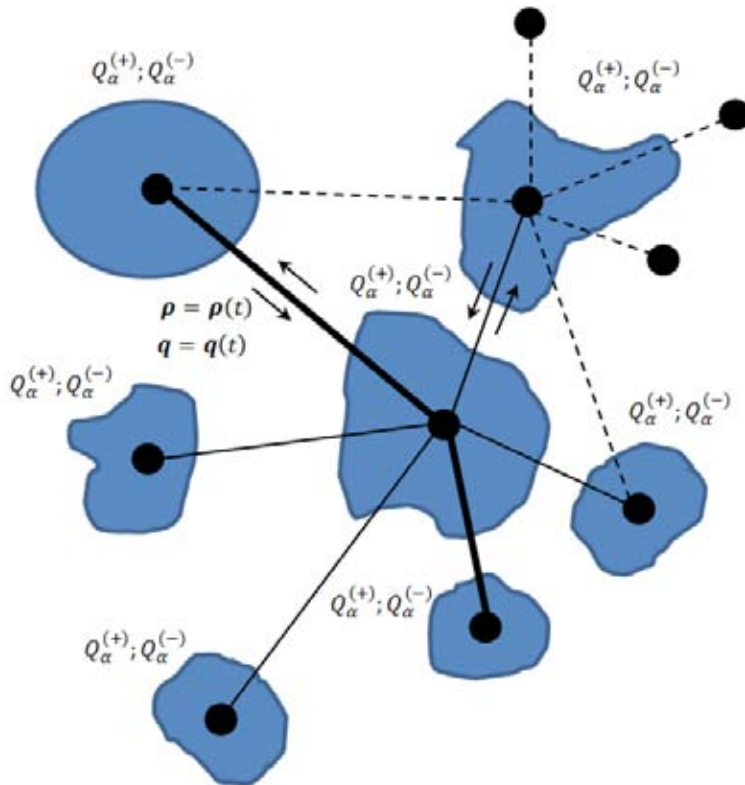
H is information entropy of the transport system;

G^* is vector of constraints regarding resource consumption;

ap_n is a priori probabilities of finding an element in state n ;

G_n is capacity of state n ;





Pic. 1. Scheme of transport connections (origin-destination trips) between districts [performed by the authors].

n is ordinal number of the state of the elements;

m is total number of different states.

In the theory of macrosystems, there are several ways to fill the states of the system (Yu. S. Popkov [5]). To calculate the information entropy H in system (1), the Bose–Einstein statistics was chosen as the most preferable one. This statistic means that a large (up to infinite) number of elements can be in the same state. For example, there may be a sufficiently large number of vehicles on the same route at the same time to warrant the use of this statistic.

The system of equations and constraints (1) is solved by numerical methods to find an

equilibrium state (maximum information entropy), which gives the distribution of elements of the set $V(t)$ over correspondences. These elements are the main unknowns of system (1).

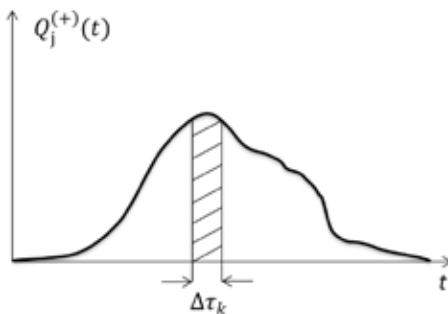
The scheme of origin-destination trips in the system is shown in Pic. 1.

Then,

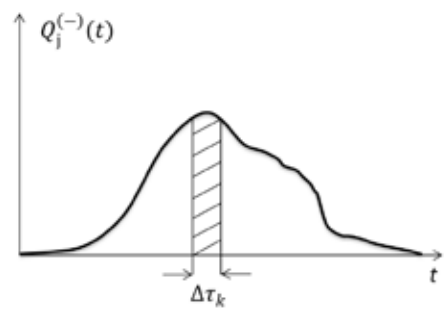
$$n(t) = f(x) = \begin{cases} 1, v \in p_{\alpha} \\ 0, v \notin p_{\alpha}. \end{cases} \quad (2)$$

To close the system (1), it is necessary to add a set of elements to it:

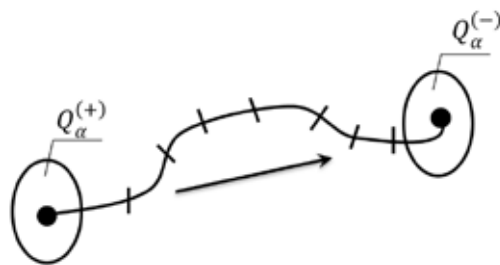
1) The characteristics of transport sources can be written in the form (3) and make it possible



Pic. 2. Dependence of intensity of source of vehicles [performed by the authors].



Pic. 3. Dependence of intensity of vehicles' runoff [performed by the authors].



Pic. 4. Chart of the route [performed by the authors].

to calculate the number of vehicles «generated» for any time interval (Pics. 2 and 4):

$$Q_i^{(+)} = Q_i^{(+)}(t). \quad (3)$$

2) Characteristics of the runoff (absorption centre, centre of mass gravity) located at the end of route α (Pic. 3);

3) Equation of balance of cars, which are on the route α :

$$V_\alpha \Big|_{\Delta\tau_k} = V_\alpha \Big|_{\Delta\tau_{k-1}} + \Delta V_\alpha^{(+)} \Big|_{\Delta\tau_k} - \Delta V_\alpha^{(-)} \Big|_{\Delta\tau_k}, \quad (4)$$

where the number of cars which are on the route within the time interval $\Delta\tau_k$ is considered (Pic. 2).

$$\Delta V_\alpha^{(+)} \Big|_{\Delta\tau_k} = \int_{\Delta\tau_k} Q_\alpha^{(+)}(t) dt. \quad (5)$$

The number of cars, which terminated the transport process of the route within the time interval $\Delta\tau_k$ (Pic. 3):

$$\Delta V_\alpha^{(-)} \Big|_{\Delta\tau_k} = \int_{\Delta\tau_k} Q_\alpha^{(-)}(t) dt. \quad (6)$$

Thus, the variables requiring calculations in model (1) are the members of the sets: a) $V(t)$; b) $P(t)$.

To search for unknowns, it is necessary at each step $\Delta\tau_k$ to solve a problem containing the calculation:

1) $Q_i^{(+)}$.

2) $Q_i^{(-)}$, that is, the volumes of departures and arrivals for all transport districts.

3) H_{\max} that is maximum value of entropy, with an appropriate distribution of the elements of the sets $V(t)$ along the routes p_α , presumably considering only those vehicles that have reached the trip destination point ($\pi_v = 1$).

4) Elements of the set $P(t)$, which requires to introduce additional conditions on the speed of vehicles.

5) A priori probabilities that presumably reflect the generalised cost (price) of the trip.

Thus, it is additionally required to enter into the description a formula for calculating a priori probabilities $p_1, p_2, \dots, p_\alpha$, as well as a method of accounting of C_β^* (generalised trip cost (price)).

CONCLUSIONS

The mathematical model of transport behaviour developed in this work within the framework of the macrosystem approach [15] requires at this stage knowledge of the following parameters as of a priori information:

1) Factor of splitting of passenger flows by modes of transport within the simulated period of time.

2) Factor of splitting of passenger flows by purpose of the trip.

3) Distribution of origin-destination trips along specific routes.

It is assumed that this model will allow to determine as a result of calculations:

1) Interchange (transfer) factor.

2) Distribution of trips by range (distance).

3) Distribution of waiting time for passengers at embarkation/disembarkation points.

4) Exchanges of passenger flows at embarkation/disembarkation points as a function of time, etc.

Certainly, answers should be obtained in the near future to questions about how the origin-destination trip matrix will be calculated for the proposed model [16–18], as well as on the applicability of entropy methods for solving problems of the equilibrium of the transport system to modern urban systems [19–23].

REFERENCES

1. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. Approaches to formalisation of the concept of transport behaviour of the population of urban agglomerations [*Podkhody k formalizatsii ponyatiya transportnogo povedeniya naseleniya gorodskikh aglomeratsii*]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2021, Iss. 2, pp. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.
2. Aliev, A. S., Strelnikov, A. I., Shvetsov, V. I., Shershevsky, Yu. Z. Modelling transport flows in a large city as applied to Moscow agglomeration [*Modelirovanie transportnykh potokov v krupnom gorode s primeneniem k moskovskoi aglomeratsii*]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2005, Iss. 11, pp. 113–125. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.phtml?jmid=at&paperid=1465&wha t=fullt&option_lang=rus. Last accessed 19.11.2021.



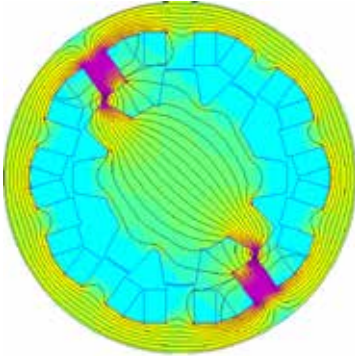
3. Carrothers, G. A. P. An Historical Review of the Gravity and Potential Concepts of Human Interaction. *Journal of the American Planning Association*, 1956, Vol. 22, pp. 94–102. DOI: 10.1080/01944365608979229.
4. Wilson, A. G. Entropy in Urban and Regional Modelling [In Russian. Russian edition's title: Entropy methods of modelling in complex systems. *Entropiynie metody modelirovaniya slozhnykh sistem*]. Moscow, Nauka publ., 1978, 247 p.
5. Popkov, Yu. S. Theory of macrosystems: Equilibrium models [Teoriya makrosistem: Ravnovesnie modeli]. Moscow, Editorial URSS, 1999, 320 p. ISBN 5-8360-0035-2.
6. Vasilyeva, E. V., Igudin, R. V., Livshits, V. N. Optimization of planning and management of transport systems [Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami]. Moscow, Transport publ., 1987, 207 p.
7. Vasilyeva, E. V., Levit, B. Yu., Livshits, V. N. Nonlinear transport problems on networks [Nelineinyye transportnye zadachi na setyakh]. Moscow, Finansy i statistika publ., 1972, 103 p.
8. Shvetsov, V. I. Mathematical modelling of transport flows [Matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2003, Iss. 11, pp. 3–46. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.php?tmpl=jrnl&paperid=1966&what=fullt&option_lang=rus. Last accessed 19.11.2021.
9. Fedorov, V. A. Transport behaviour of individuals – the main source of urban transport problems [Transportnoye povedeniye individuumov – osnovnoy istochnik gorodskikh transportnykh problem]. *Molodoy ucheniy*, 2015, Iss. 18 (98), pp. 309–316. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/98/21292/>. Last accessed 19.11.2021.
10. Muleev, E. Yu. «Transport behaviour» and «Mobility»: on the issue of conceptual terms [«Transportnoye povedeniye», «Podvizhnost» i «Mobilnost»: k voprosu o kontseptualnosti terminov]. *Sotsiologicheskyy zhurnal*, 2015, Vol. 21, Iss. 3, pp. 8–28. DOI: <https://doi.org/10.19181/socjour.2015.21.3.2375>.
11. Savelyeva, V. Yu. Factors of formation of transport behaviour in the largest cities of Russia [Faktory formirovaniya transportnogo povedeniya v krupneishikh gorodakh Rossii]. *Urban Planning Journal. All-Union Scientific Research Institute for Problems of Scientific and Technological Progress of Information in Construction (Moscow)*, 2018, Iss. 5 (57), pp. 54–62. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35781220>. Last accessed 19.11.2021.
12. Muleev, E. Yu. Transport behaviour of the population of Russia: a brief report on a sociological study [Transportnoye povedeniye naseleniya Rossii: kratkiy otchet o sotsiologicheskoy issledovanii]. Moscow, Institute of Transport Economics and Transport Policy of National Research University Higher School of Economics, 2015, 37 p. [Electronic resource]: https://www.hse.ru/data/2015/03/10/1093862032/Транспортное%20поведение%20населения%20РФ_2014.pdf. Last accessed 19.11.2021.
13. Mobility in cities database. Synthesis report. UITP, 2015. [Electronic resource]: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/MCD_2015_synthesis_web_0.pdf. Last accessed 19.11.2021.
14. Quan Liang; Jiancheng Weng; Wei Zhou; Selene Baez, Santamaria; Jianming Ma; Jian Rong. Individual Travel Behavior Modeling of Public Transport Passenger Based on Graph Construction. *Hindawi Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2018, Article ID 3859830. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830>.
15. Agureev, I. E. Development of the Theory of Macrosystems as a Necessary Condition for Improving Quality of Transport Modelling. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 20, Iss. 2, pp. 6–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-06-20>.
16. Gasnikov, A. V., Gasnikova, E. V., Mendel, M. A., Chepurchenko, K. V. Evolutionary conclusions of the entropy model for calculation the correspondence matrix [Evolyutsionnye vyvody entropiinoi modeli rascheta matritsy korrespondentsii]. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2016, Vol. 28, pp. 1–16. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.php?tmpl=jrnl&paperid=3724&what=fullt&option_lang=rus. Last accessed 19.11.2021.
17. Imelbaev, Sh. S., Shmulyan, B. L. Modeling of stochastic communication systems [Modelirovanie stokhasticheskikh kommunikatsionnykh sistem]. *Entropiynie metody modelirovaniya slozhnykh sistem*. Moscow, Nauka publ., 1978, pp. 170–233. [Electronic resource]: http://www.mathnet.ru/php/getFT.php?tmpl=jrnl&paperid=7358&what=fullt&option_lang=rus. Last accessed 19.11.2021.
18. Gasnikova, E. V. On the possible dynamics in the calculation model of the correspondence matrix [O vozmozhnoy dinamike v modeli rascheta matritsy korrespondentsii]. In: Introduction to mathematical modelling of transport flows. Ed. by Gasnikov A. V. [et al]. 2nd ed. Moscow, Moscow Centre for Continuous Mathematical Education, 2013, pp. 248–270. ISBN 9785443921501. [Electronic resource]: <https://ru.ptlib.org/dl/2899886/f9150c>. Last accessed 19.11.2021.
19. Nesterov, Yu. E., Shipirko, S. V. Stochastic transport equilibrium [Stokhasticheskoe transportnoye ravnovesiye]. In: Introduction to mathematical modelling of transport flows. Ed. by Gasnikov A. V. [et al]. 2nd ed. Moscow, Moscow Centre for Continuous Mathematical Education, 2013, pp. 314–324. ISBN 9785443921501. [Electronic resource]: <https://ru.ptlib.org/dl/2899886/f9150c>. Last accessed 19.11.2021.
20. Wilson, A. G. Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. London, New York, 2000. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
21. Dearden, J., Wilson, A. Exploring urban retail phase transition – 1: an analysis system. UCL, Working Papers Series, July 2008. Paper 140. [Electronic resource]: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/15193/1/15193.pdf>. Last accessed 19.11.2021.
22. Wilson, A. G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. In: Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 11–31. DOI: 10.1007/978-3-642-01554-0_2.
23. Purvis, B., Mao, Yo., Robinson, D. Entropy and its Application to Urban Systems. *Entropy*, 2019, Vol. 21, 56 p. DOI: 10.3390/e21010056.

Information about the authors:

Agureev, Igor E., D.Sc. (Eng), Head of the Department of Cars and Car Economy of Tula State University, Tula, Russia, agureev-igor@yandex.ru.

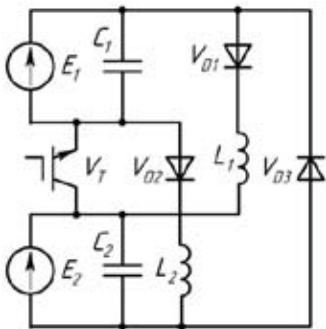
Akhromeshin, Andrey V., doctoral student at the Department of Cars and Car Economy of Tula State University, Tula, Russia, aakhromeshin@yandex.ru.

Article received 07.11.2021, approved 20.12.2021, accepted 27.12.2021.



AUTOMATION 141

Control of transport apparatus and vehicles should be optimal in all environmental media, comprising in underwater environment. Switched reluctance motor (SRM) serves an example for the study of automation of control of electric drive of manned submersibles.

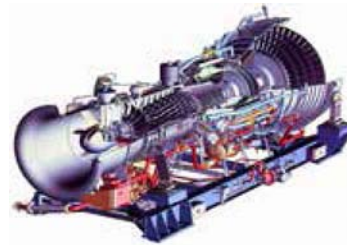


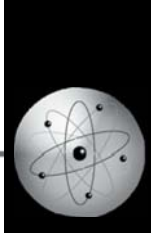
SCIENCE AND ENGINEERING



GAS TURBINE LOCOMOTIVE AND HSR 154

Multiple unit trains with gas turbine engines and electric AC-AC drives to be operated on HSR. Analysis of comparable advantages and previous experience.





Automation of the Control of Electric Drive of Manned Submersibles



Alexander D. PETRUSHIN



Vladislav Yu. SMACHNY



Vladimir V. LOBYNTSEV



Sergey G. FOKIN

Alexander D. Petrushin¹, Vladislav Yu. Smachny², Vladimir V. Lobytsev³, Sergey G. Fokin⁴

^{1,2} Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia.

³ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

⁴ Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society, St. Petersburg, Russia.

✉ ¹alex331685@yandex.ru, ²smachney87@mail.ru, ³Lobzik-v@yandex.ru, ⁴s.fokin@urc-rgs.ru.

ABSTRACT

Currently, there is an intensive development of manned and unmanned submersibles due to development of offshore oil and gas fields, development of underwater archaeology and exploration activities in transit zones regarding seabed mineral extraction. The depth of immersion and the nature of the underwater technical works performed determine not only the design of the underwater vehicle, its power-to-weight ratio and technical equipment, but also impose high requirements on reliability, survivability, and habitability, if the underwater vehicle implies that the operator is on board inside a pressure hull. The main objectives of the study carried out by the authors were to achieve high reliability and survivability of the main elements of the propulsion-steering complex, which ensure movement of a human-occupied vehicle in the water column, its positioning and retention at a given point in the water area.

For this purpose, it was proceeded to development of an automated control system for the electric drive of the propulsive device of manned immersible. The proposed developments include a flowchart of the movement control system, circuitry engineering solutions using power semiconductor devices to maintain operability

of the electric drive in extreme and emergency operating conditions, and movement control algorithms. Electromagnetic calculations of the active part of the electric machine were performed by the finite element method, considering the geometric features of the dental zone of the rotor and stator. The proposed mathematical apparatus served to calculate optimal control actions of the electric drive and to quantitatively assess the reduction in electrical losses once optimal control was applied. The calculation of the optimal control parameters was carried out using the maximum principle. The initial conditions for auxiliary functions are determined by the Newton-Raphson method. A comparison of various modes of operation of the electric drive was made regarding their influence on duration of the campaign, and other parameters.

The calculations did not consider the parameters and geometry of the propulsive device (the propeller) since the developers of electric propulsion systems for manned and unmanned underwater vehicles of various classes often deliberately reduce the efficiency of the propeller to increase speed of the electric motor shaft, resulting in a decrease in the dimensions and weight of the latter.

Keywords: automated control system, manned submersible, human occupied vehicles, reliability, energy efficiency, optimisation, fault tolerance.

For citation: Petrushin, A. D., Smachny, V. Yu., Lobytsev, V. V., Fokin, S. G. Automation of the Control of Electric Drive of Manned Submersibles. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 148–153. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-3>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Smart information technologies providing automated control functions are a mandatory attribute of specialised transport equipment while working in an environment alien to human, including under water. High risk of underwater technical works imposes exceptional requirements on reliability of units, parts, and systems, and on survivability of the entire manned submersible.

Some success in design and production of domestic manned submersibles intended for various immersion depths with an objective dominant of electrical engineering components still leaves not definitively solved a set of issues to increase energy efficiency with extension of duration of the campaign, optimise the cost of production and maintain competitiveness in the world market.

Relevance and Analysis of the Problem

The desire to explore the oceans led to creation of two manned submersible vehicles which once descended into the Challenger Deep, the deepest place of the Mariana Trench: the bathyscaphe *Trieste* and the deep-submergence vehicle *Deepsea Challenger*, designed for a maximum depth of 11,000 m [1]. Underwater technical works of the survey of the condition, repair and restoration of various objects located on the seabed and near it involve the use of deep-sea equipment including habitable underwater vehicles¹.

The Russian manned project 03660 submersible with a transparent spherical solid hull, designed for performing underwater technical work on offshore gas pipelines, was presented to the public at the Gasprom science and innovation exhibition at 9th St. Petersburg International Gas Forum. The project is being implemented by Gazprom with involvement of the National Research Centre «Kurchatov Institute», the Malachite Marine Engineering Bureau of St. Petersburg, and the Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society².

The motion of the unmanned submersible through the water column, its positioning and

manoeuvring is provided by moving and steering complex consisting of two sustained, two vertical and one horizontal thruster columns. In modern practices, developers of underwater vehicles often reduce the efficiency of the propeller by increasing speed of the engine shaft to optimise its dimensions and weight to achieve the required flow parameters with a given traction effort. In this regard for various reasons propellers continue to be the main effective type of engines despite development of water-jet systems that can endow unmanned submersibles with greater manoeuvrability [2].

Depending on the operating requirements the propellers can be driven by: DC electric motors, asynchronous and synchronous electric machines, including those with the use of permanent magnets in the rotor of the traditional layout and of ring type, of dry or oil filled versions with an outboard pressure compensation system; less often by open-type electric motors and hydraulic motors. AC motors do not have manifolds, allow so to smoothly adjust the shaft speed but require a relatively more sophisticated control system. At the same time the operational features and efficiency of the unmanned submersibles depend directly on the parameters of the drive of the propulsive device³.

Problem Statement and Research Methods

Pic. 1 shows the flowchart of the automated system controlling moving and steering complex of the manned submersible intended to improve its reliability, survivability, and dynamic characteristics. Interactive remote controls allow setting, controlling and quickly adjusting movement parameters through direct and feedback connections by influencing the microprocessor system with automatic visualisation of the response. The microprocessor system provides communication with all elements of the electric drive, realising automatic setting of the specified parameters of movement or positioning at a given point optimising control algorithms, and simultaneously performing diagnostic, protective and information functions.

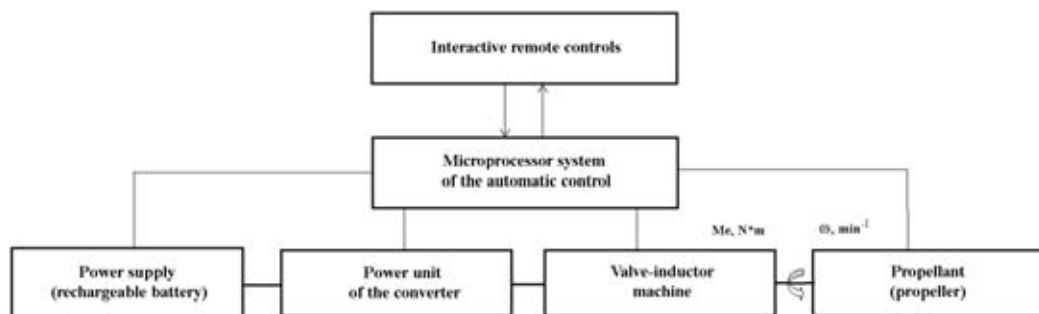
Switched Reluctance Motor (SRM) is considered as an electric drive prototype. This electric machine, thanks to a number of positive

¹ To the bottom of the ocean: top 5 Russian deep-sea submersibles [*Na dno okeana: top-5 rossiyskikh glubokovodnykh apparatov*]. [Electronic resource]: <https://tvzvezda.ru/news/201707121549-v8fk.htm>. Last accessed 22.08.2021.

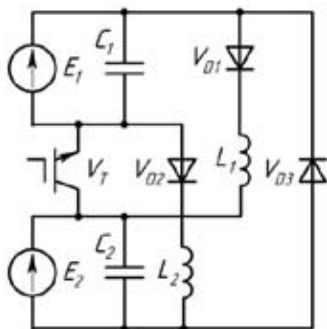
² Domestic habitable underwater vehicle [*Otechestvennyi obitaemy podvodny apparat*]. [Electronic resource]: <https://urc-rgs.ru/activity/project?id=9>. Last accessed 22.08.2021.

³ Domestic propellers for underwater vehicles [*Otechestvennye dvizhiteli dlia podvodnykh apparatov*]. The «www.Korabel.ru» journal. [Electronic resource]: https://www.korabel.ru/news/comments/otechestvennye_dvizhiteli_dlya_podvodnykh_apparatov.html. Last accessed 22.08.2021.





Pic. 1. Flowchart of the motion control system of an unmanned submersible [performed by the authors].



Pic. 2. Power circuit of a SRM single phase [performed by the authors].

features, is used in various vehicles [3–5]. With its simple design and reliability, SRM has a high efficiency value, which is important for analysing duration of the campaign, time of travel and the range of navigation at the target depth of immersion.

To ensure a high level of survivability of the moving and steering complex, the power circuits of the electric drive control system which connect the phases of the electric machine with the power source should be designed and manufactured using galvanic separation. The power supply is partitioned, the independent section feeds a separate SRM phase. With such a structure of the power part, the failure of any element such as the winding, the semiconductor component or the power supply section does not lead to interrelated failures and does not impact the performance of the remaining phases of the electric drive, and therefore the damaged unit of the moving and steering complex retains survivability with a partial loss of power. In this case, the power supply circuit of a phase of SRM (Pic. 2) will have one semiconductor switch V_T , which makes it possible to form two circuits of the voltage supplied to the winding: a positive one with energy entering the electromagnetic circuit and a negative

one with energy returning to the source at the end of the switching cycle [6].

Pic. 3 shows the active part of the SRM designed by the authors of the paper and optimised using the Monte Carlo method according to the criterion of maximum electromagnetic torque in a given geometric volume with the placement of all elements of the electric motor and considering its external design. The SRM dental zone is formed using optimal design tools with a curved shape of the air gap between the stator and the rotor [7]. The dental zone is selected from the ratio of 10-teeth stator and 8-teeth rotor [8]. With this magnetic circuit design, the rotor teeth are divided into teeth fragments, and the angle between the axes of the rotor teeth in each fragment is equal to the angle between the axes of all evenly spread stator teeth. The stator teeth with the coils placed on them are evenly spread over the inner surface of the stator.

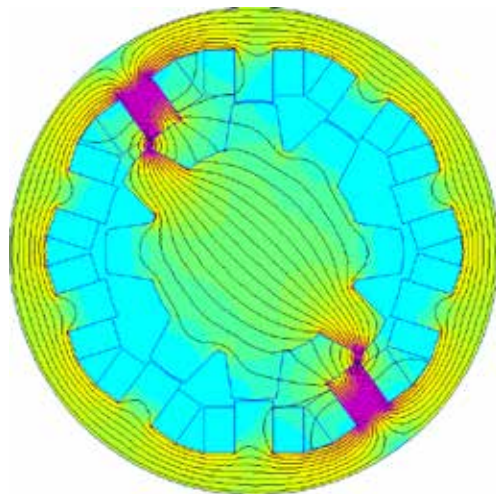
The task of the research was to ensure the energy efficiency of SRM operation by controlling the electric machine according to the optimal algorithm, which allows to significantly reduce the electrical losses in the winding during electromechanical energy conversion.

The calculations are carried out for an electric machine with a rated power of 5 kW and a rotation speed of 500 s^{-1} , the moment of inertia of the rotor and of the rotating parts attached to it of $0,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, the supply voltage being 220 V for the rectangular voltage pulse supply option and 400 V for the winding supply with optimal control.

RESULTS

Theoretical Part

The mathematical model of SRM is based on the assumption that there is no magnetic connecting between the phases. The Kirchhoff



Pic. 3. The active part of the SRM with an excited phase [performed by the authors].

equations of the electric circuit for the first phase of the winding have the form [9]:

$$V = R_s i_1 + \frac{d\Psi_1(\theta, i_1)}{dt}, \quad (1)$$

where V is the supply voltage of a phase, V;

i_1 – current of the first phase, A;

R_s – active resistance of each phase, Ohm;

$\Psi_1(\theta, i_1)$ – interlinkage of the first phase, depending on the angle of rotation of the rotor θ , electric deg., and current i_1 ;

t – time, s.

Equation (1) expressed in terms of SRM parameters and reduced to the Cauchy form, is presented in the following form:

$$\frac{di_1}{d\theta} = \frac{1}{\omega \cdot Z_r \cdot L_1} \cdot (V - i_1 R_s - i_1 \cdot \omega \cdot Z_r \cdot \frac{dL_1}{d\theta}), \quad (2)$$

where ω is angular speed of rotation, s^{-1} ;

Z_r – number of rotor teeth.

The equation of motion is represented as:

$$\frac{d\omega}{d\theta} = \frac{1}{J \cdot \omega \cdot Z_r} (T_e - T_r), \quad (3)$$

where n – number of SRM phases;

J – moment of inertia, $kg \cdot m^2$;

T_m – electromagnetic moment, $N \cdot m$;

T_r – moment of resistance on the shaft, $N \cdot m$.

To determine the optimal control actions for SRM control, the maximum principle was used. The square of the input voltage to the stator winding is chosen as the optimisation criterion [10]:

$$J_k = \int_{\theta_1}^{\theta_2} V^2 d\theta. \quad (4)$$

For linear electrical circuits, criterion (4) allows to obtain the minimum electrical losses. However, SRM works with periodic saturation

of a magnetic circuit having a nonlinear magnetisation curve, so criterion (4) will not correspond to the minimum of electrical losses, but, as calculations have shown, will significantly reduce them.

The dependence of the supply voltage on the angle of the rotor's rotation is selected as the control action [11]. At the optimisation stage, the following assumptions are made: the dependence of the inductance on the angle of rotation of the rotor is approximated by a harmonic function, the saturation of the magnetic circuit was not considered. Then, the intermediate function H according to the maximum principle has the following form:

$$H = \left[\frac{1}{\omega \cdot Z_r \cdot L_1} \cdot (V - i_1 R_s - i_1 \cdot \omega \cdot Z_r \cdot \frac{dL_1}{d\theta}) \right] \Psi_1 + \left[\frac{1}{J \cdot \omega \cdot Z_r} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{Z_r \cdot i_i^2}{2} \cdot \frac{dL_i}{d\theta} - T_r \right) \right] \Psi_2 + V^2.$$

Let us define the optimal supply voltage V^* as a partial derivative of the intermediate function with respect to the control action V :

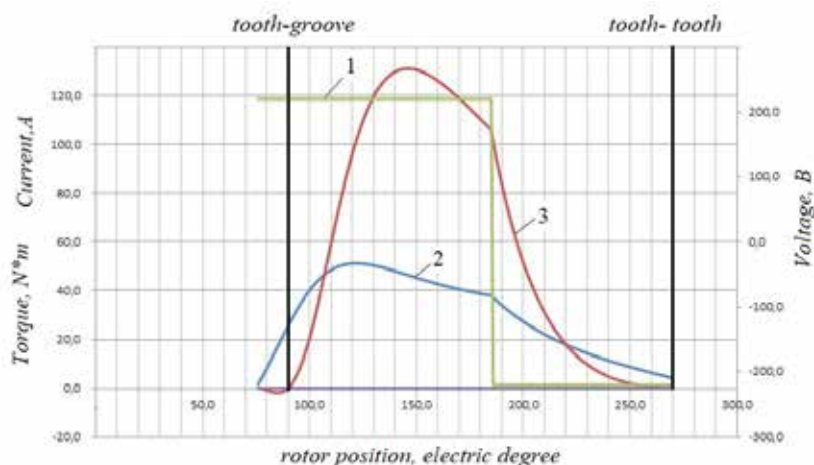
$$V^* = \frac{\Psi_1}{2 \cdot L \cdot \omega \cdot Z_r}. \quad (5)$$

Let us then define auxiliary functions Ψ_1 and Ψ_2 :

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_1}{d\theta} = \Psi_1 \left(\frac{R_s}{L \cdot \omega \cdot Z_r} + \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{d\theta} \right) - \frac{i_1 \cdot \Psi_2}{J \cdot \omega} \cdot \frac{dL}{d\theta} \\ \frac{d\Psi_2}{d\theta} = \frac{\Psi_1}{L \cdot \omega^2} (V - i_1 R_s) + \frac{\Psi_2}{J \cdot \omega^2} \left(\frac{i_1^2}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} - T_r \right). \end{cases} \quad (6)$$

When solving the optimisation problem, the initial conditions for auxiliary functions are determined using the Newton–Raphson method [12].





Pic. 4. SRM phase parameters when powered by DC pulses:
1 – supply voltage, 2 – current, 3 – electromagnetic torque [performed by the authors].

The calculation results for SRM control without using an optimisation algorithm for one phase of stator winding are shown in Pic. 4.

DC voltage pulses with an amplitude of 220 V were applied at the following control angles: the switching angle was of 15 electric degrees to the tooth-groove position and the turn-off angle was 85 electric degrees to the tooth-tooth position.

The results of the calculation for SRM control using the optimisation algorithm under the condition of equal performance with the non-optimisation option are shown in Pic. 5.

In the optimal mode, the current of the SRM stator winding, in contrast to the mode without optimisation, does not have an explicit maximum (Pic. 5) but has a flat characteristic in the range of 135–185 electric degrees. In the optimal mode, when performing the same work, the electrical losses in the winding are reduced. If the electrical losses for one switching cycle in the non-optimised mode are taken as 100 %, then in the optimal mode the electrical losses will be by 6–7 % less.

To implement the optimal mode, you should increase the supply voltage of the SRM while reducing the capacity of the batteries, so that the space for placing the batteries remains the same.

Practical Significance

The practical implementation of the optimal SRM control algorithm is achieved using the microcontroller control program, which generates the parameters of the control pulses in real time according to the mathematical model of optimal

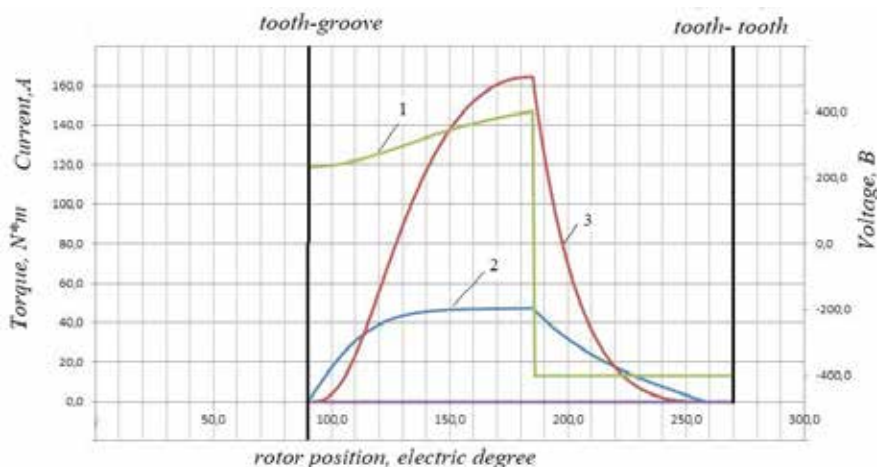
SRM control. The current in the winding is generated using Pulse–Width Modulation (PWM). The quality of the supply current shape with optimal SRM control is ensured by a rational choice of PWM parameters.

The practical significance of the results obtained is associated with the increase in the reliability, survivability and energy efficiency of the SRM electric drive of the moving and steering complex, in better quality of functioning of the proposed automated motion control system of manned submersibles, which are decisive for the operational attractiveness and achieving competitiveness in the world market.

CONCLUSION

The proposed automated system intended for the control of the electric drive of the manned submersible's moving and steering complex makes it possible to increase the reliability and survivability of the entire vehicle. The use of galvanically separated power circuits connecting the phases of the electric machine to the power source additionally provides fault tolerance and emergency operation when the power on the shaft decreases.

The developed mathematical apparatus and the quantitative estimates of energy efficiency carried out with its use had a positive impact on the possibility of optimising the consumption of electricity from the onboard power source. Reducing electrical losses during electro-mechanical energy conversion directly affects the range of manned submersible and duration of the campaign.



Pic. 5. SRM phase parameters with optimal control algorithm:
1 – supply voltage, 2 – current, 3 – electromagnetic torque [performed by the authors].

REFERENCES

1. Grigoriev, A. I., Litvinenko, V. V., Lapsar, S. A. Promising technologies for deep-sea vehicles on the example of creation of Vityaz AUV [Perspektivnie tekhnologii glubokovodnykh apparatov na primere sozdaniya ANPA «Vityaz»]. Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, St. Petersburg, 2020, Iss. 4, pp. 117–122. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44392933>. Last accessed 22.08.2021.
2. Propulsion and steering complex of an underwater vehicle: Marine Encyclopaedic Dictionary in two volumes [Dvizhitelno-rulevoi kompleks podvodnogo apparata: Morskoi entsiklopedicheskiy slovar v dvukh tomakh]. Ed. by Isanin, N. N. Vol. 1. [Electronic resource]: <https://www.korabel.ru/dictionary/detail/409.html>. Last accessed 22.08.2021.
3. Kamalakannan, C., Kamaraj, V., Paramasivam, S., Paranjothi, S. Switched reluctance machine in automotive applications – A technology status review. In: Proceedings of the 1st International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES '2011), Newport Beach (USA), 2011, pp. 187–197. DOI: 10.1109/ICEES.2011.5725326.
4. Voron, Oleg A., Petrushin, Alexandr D. Improving the Energy Efficiency of Electric Machines for Specialized Railway Rolling Stock. In: 2021 XVIII International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED), Ekaterinburg, Russia. DOI: 10.1109/ACED50605.2021.9462273.
5. Nuca, I., Todos, P., Esanu, V. Urban electric vehicles traction: Achievements and trends. In: Proceedings of the 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE'2012), Iasi (Romania), 2012, pp. 76–81. DOI: 10.1109/ICEPE.2012.6463948.
6. Petrushin, A., Smachney, V., Petrushin, D. Research of options for maintaining the operability of the traction switched reluctance motors in emergencies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 950, Iss. 1, pp. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/950/1/012028.
7. Petrushin, A. D., Kashuba, A. V. Improvement of switched reluctance motor performance using optimization algorithms. In: Proceedings of 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS 2018), Novocherkassk, October 3–6, 2018, pp. 4–7. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571756.
8. Pat. No. 2629753, Russian Federation, IPC H02K 19/06. Valve-inductor electric machine. Petrushin, A. D., Petrushin, D. A., Chavychalov, M. V.; applicants and patent holders. No. 2016102297; appl. 25.01.2016; publ. 26.07.2017, bul. No. 21. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2629753C2_20170901. Last accessed 22.08.2021.
9. Krishnan, R. Switched Reluctance Motor Drives Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. London, CRC press, 2001, 432 p. DOI: 10.1201/9781420041644.
10. Petrushin, A. D., Kashuba, A. V., Petrushin, D. A. Using Optimization Algorithms in the Design of SRM. Modelling and Control of Switched Reluctance Machines. Ed. by Rui Esteves Araújo. London, IntechOpen, 2020, 24 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89123/>.
11. Hamouda, M., Menaem, A. A., Rezk, H., Ibrahim, M. N. Comparative Evaluation for an Improved Direct Instantaneous Torque Control Strategy of Switched Reluctance Motor Drives for Electric Vehicles. *Mathematics*, 2021, Vol. 9, Iss. 4. DOI: 10.3390/math9040302.
12. Casella, F., Bachmann, B. On the choice of initial guesses for the Newton–Raphson algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 2021, Vol. 398, pp. 125991. DOI: 10.1016/j.amc.2021.125991. ●

Information about the authors:

Petrushin, Alexander D., D.Sc. (Eng), Professor of the Department of Wagons and Wagon Economy of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, alex331685@yandex.ru.

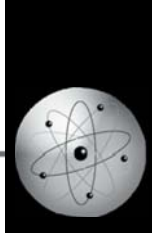
Smachny, Vladislav Yu., Assistant Lecturer at the Department of Metal Technology, Head of Employment and Career Monitoring Unit of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, smachney87@mail.ru.

Lobyntsev, Vladimir V., Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Transport Electrical Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Lobzik-v@yandex.ru.

Fokin, Sergey G., Executive Director of Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society, St. Petersburg, Russia, s.fokin@urc-rgs.ru.

Article received 16.09.2021, approved 05.12.2021, accepted 19.12.2021.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-4>

Applicability of Gas Turbine Traction in High-Speed Rail Projects in Russia



Pavel S. Troitsky

Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia.

✉ paveltroickiy@mail.ru.

Pavel S. TROITSKY

ABSTRACT

Recently, the issue of advisability of building dedicated high-speed railways (HSR) in Russia for transportation of passengers and goods has often been raised in the scientific and industry environment. The key risk of such large-scale investment projects is a significant or rather long payback period due to the lower population density in the areas of the proposed HSR compared to, for example, China. In addition, when planning such capital-intensive and resource-intensive investments, it is necessary to consider plans for development of other modes of transport, namely, express highways, air traffic, as direct competitors to speed and high-speed railways.

A way to increase the competitiveness of HSR may be to reduce capital costs during the construction. The creation of HSR, where multiple-unit trains powered by gas turbine engines (GTE) and using AC-AC electric drive, will allow to renounce investments

in expensive design, construction, and subsequent maintenance of energy facilities, specialised HSR catenary, which will ensure reduction in the cost of HSR projects, in construction time, and accelerated payback of railways.

The article describes the advantages of operating gas turbine traction on speed and high-speed railway lines. The possible structure and layout of such trains are shown. The risks of operation of rolling stock powered by GTE are considered as well as the ways to neutralise them. The objective of the study was to identify the comparative advantages of multiple unit trains powered by GTE compared to high-speed electric trains. The study used methods of comparative analysis, content analysis of technical information, and ranking. It is concluded that introduction of GTE will reduce the investment and operating costs of speed and high-speed railways while maintaining the power and dynamic characteristics of trains.

Keywords: railway, gas turbine traction, multiple-unit trains, turbo-trains, high-speed transport, accelerated cargo transportation.

For citation: Troitsky, P. S. Applicability of Gas Turbine Traction in High-Speed Rail Projects in Russia. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 154–158. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The operating mode of high-speed and speed trains is characterised by the use most of the time of rated power. The key role in movement is played by constant atmospheric resistance, and not by the variable impact of the track profile, therefore, the requirements of low weight and aerodynamic shape of such rolling stock come to the fore.

The *objective* of the article is to show, using the *methods* of comparative analysis, content analysis of technical information, ranking, the conceptual possibility of replacing electric trains with gas turbine multiple-unit trains during construction of HSR to reduce the investment and operating costs of such projects.

According to experts of the Scientific Centre Track infrastructure and issues of wheel-rail interaction of JSC VNIIZhT, the arrangement of 1 km of HSR traction power supply facilities may amount to 48 million roubles. Thus, during the construction, i.e., of Moscow–Adler HSR (1900 km), investment costs will decrease by 91,2 billion roubles, which, with a total estimated cost of the main line of 2,5 trillion roubles, will generate savings in investments of about 4 %.

RESULTS

Comparative Advantages and Disadvantages of Turbo-Trains powered by GTE

The following main advantages of traction GTE were revealed based on full-scale and analytical studies:

1. High power features, operation with maximum efficiency at rated power, at which high-speed trains operate most of the time.

2. Half the cost of consumed fuel (liquefied natural gas, LNG) compared to the cost of 1 kW•h of electricity.

3. Modular design, small dimensions, and weight of the GTE which is an order of magnitude lower than that of a locomotive diesel engine. In particular, when comparing PD1M diesel engine of TEM18DM shunting diesel locomotive and the GTE for the shunting locomotive based on MSU-800 series locomotive, the weight reduction attained 12,16 times (12,6 tonnes versus 1,04 tonnes), the dimensional reduction (the total engine volume) attained 10,19 times (20,17 m³ versus 1,98 m³) with comparable engine power of 882 and 860 kW, respectively.

4. Accessibility for inspection, control and diagnostics allows operate GTE according to their condition and reduce repair costs by 15–20 %, and the cost of lubricating oils up to by ten times compared to diesel engines of the same power [1].

5. GTE operation is in good agreement with energy storage devices, which makes it possible to stabilise the engine operation during the period of train departure and arrival.

6. High autonomy and ability to operate high-speed turbo-trains in any weather conditions, including strong wind loads, sand and snow drifts, icing of power lines.

7. Significant improvement of the environmental situation in the areas of HSR. «Thermodynamic and environmental advantages of gas motor fuel compared to diesel fuel are due to the energy and physical characteristics of gas. The values of emissions of toxic substances in terms of hydrocarbon composition and nitrogen oxides are by 1,5–2 times lower» [2].

8. «A gas turbine is a rather soft damping element under dynamic impact, therefore, even on powerful GTEs, one can expect fairly stable and reliable operation of gimbal systems» [2].

It is worth noting the most significant disadvantages of operation of turbo-trains with GTE, as well as ways to eliminate them:

1. The need to place large containers on rolling stock for gas supply. Based on the results of the several meetings of scientific and technical councils and brainstorming sessions in 2003–2005, JSC Russian Railways made a strategic decision that development of railway rolling stock running on compressed natural gas (CNG) is unpromising, primarily due to the failure to provide the required range of a train running on CNG [4], and liquefied natural gas (LNG) should be used as the main fuel, including in a supercooled state [5].

2. The high temperature of the exhaust gases of a gas turbine can lead to burnout of the contact wire when turbo-trains operate on electrified lines. In this regard, it is necessary to use exhaust gas coolers, as well as the installation of exhaust pipes directed towards the track infrastructure.

3. Large gas consumption in the low load mode, as well as when starting the GTE. In such modes, the power supply of turbo trains must be provided from energy storage devices (batteries, supercapacitors).



4. Fire and explosion hazard of LNG. «CNG is more consistent with safety of its use since in case of leaks it quickly goes up, while LNG vapours or oil gases (propane, butane) concentrate in the lower part of the body of the rolling unit, which requires constant monitoring of the gas-air state under the rolling stock and its forced ventilation» [5]. At a gas concentration in the air of 4–15 %, flammable and explosive mixtures are created. «To improve safety of gas equipment of turbo-trains and reduce gas leaks, it is necessary to reduce the length of train gas pipelines, to use welded joints instead of threaded ones, reduce the number of flange and nipple connections, reduce the number of devices built into gas pipelines: thermometers, pressure sensors, electromagnetic valves, gates» [5].

The advantages of using multiple-unit trains in cargo traffic are described in the articles [6; 7] and consist in improving train controllability, increasing acceleration, and braking characteristics, traffic safety, energy efficiency of this type of traction, and increasing railway transit capacity.

Proposed Concept

Comparing the power of 8500 kW GTh1 gas turbine locomotive created in Russia in 2010 with the total power of the Sapsan ten-car high-speed electric train, we can conclude that it is possible to create a multiple-unit train powered by GTE, comparable in power to an electric multi-car train. The layout of the power plant of turbo-trains equipped with GTE should include the following set: control cabin – power plant – gas cylinder – trailer cars – gas cylinder – power plant – control cabin. Thus, trains of this type must have a constant composition. With a decrease in the mass of trains, it is possible to turn off the turbine in the tail section of the train. When the GTE is located on the roof of the train, it is most simple to ensure the process of suction of clean air into the compressor, removal of exhaust gases from the turbine, noise suppression, etc. The onboard gas supply in one tank of GTh1 gas turbine locomotive is 40 tonnes, which is sufficient for a cruising range of 1400 km [8]. Thus, two cryogenic tanks located at the head and tail of the turbo-train will be able to provide a range of up to 2800 km without refuelling. Considering the small weight of a GTE, the mass of the cryogenic

tank of 40 tonnes, the standard requirement for the maximum axial load of a high-speed turbo-train up to 17 t can be met.

Equipping gas turbine trains is possible in two ways:

- Refuelling directly into the cryogenic plant from the discharge rack.
- Use of tanks that are removable or connected to cryogenic product pipelines. This option is more technologically advanced and allows you to quickly refuel the locomotive tank with LNG at different stations, however, it requires large investment and operational investments in the gas distribution infrastructure [9; 10].

International and domestic experience

Projects aimed at developing turbo-trains using various types of fuel were carried out in Canada, the USA, France, and the former USSR.

In 1968, Canadian Rail introduced a seven-car, 185-tonnes turbo-train made of aluminium alloys. In the head car of the train, five gas turbine engines were installed, with a capacity of 295 kW each, four of them provided train traction, and one supplied electric power to the cars. During testing, this turbo-train reached a speed of 274 km/h [11].

In France, the high-speed rail project initially focused on the use of gas turbine traction (*turbine grande vitesse TVG* – high-speed turbine). The gas turbine was chosen as the engine thanks to its relatively small size and high specific and output power. However, the energy crisis of 1973, caused by growing gas prices, forced to abandon turbines in favour of electric traction.

In the USSR in 1970, an experimental train was built that consisted of two head motor cars equipped with an aircraft twin-shaft gas turbine engine. The front part of the roof of each car had an elevation with blinds, the power plant was located here. It consisted of a gas turbine engine weighing 135 kg and supplying power of 662 kW, with forced ventilation and a generator with a speed of up to 6000 rpm, generating current with a frequency of up to 200 Hz. The efficiency of the train was 19 %. The estimated speed of the train was 180 km/h. The engine was started electrically, and kerosene was used as fuel [12].

In 2000, a diesel high-speed gas turbine train with a design speed of 250 km/h was

Table 1

Assessment of the main parameters of autonomous locomotives

| Parameter | Power plant | | | | |
|----------------------------------|-------------|----------------|------------|-------------|----------------------|
| | Diesel | Gas generating | Gas diesel | Gas turbine | Gas turbine + hybrid |
| Cost | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| Maintenance and repair cost | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Fuel consumption | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Fuel cost | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Oil consumption | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Environmental friendliness | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Power | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Efficiency | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Weight and dimensions parameters | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Total | 16 | 16 | 18 | 21 | 20 |

developed in the USA. The gas turbine engine had a power of 3750 kW with a rotation speed of 16000 rpm and AC traction drive [13].

The operator of Indian Railways plans to operate multiple-unit trains and locomotives for passenger trains powered with LNG.

In addition, experimental locomotives and multiple-unit trains were produced in Spain, Indonesia, and the USA [14]. With high gas and combustible fuel prices, projects of gas engine turbo-trains are mainly developed in oil and gas producing countries.

Evaluation of the Main Parameters of Autonomously Powered Locomotives

We have carried out a scoring of the main parameters of autonomously powered locomotives, where 3 is the best indicator of the parameter, 1 is the worst. The results are shown in Table 1.

Thus, according to the results of the qualitative assessment, locomotives with gas turbine and gas turbine and hybrid installations scored the highest number of points.

CONCLUSION

Considering potentially incomplete loading of HSR capacity, the operation of speed and high-speed multiple-unit autonomously powered turbo-trains will make it possible to renounce construction and maintenance of an expensive high-speed catenary, i. e., to reduce investment and

operating costs, to implement the potential of gas-powered engines in Russia, to implement using a single transport infrastructure, including electrified one, mixed cargo and passenger traffic at different speeds. It should be noted that Russia has the largest proven reserves of natural gas in the world (50,5 trillion m³) [15, and development and operation of turbo-trains with gas turbine engines fits into the government strategy for development of gas fuelled vehicles.

REFERENCES

1. Zarifyan, A. A., Talakhadze, T. Z. Analysis of performance indicators of the energy efficiency of cargo diesel locomotives [Analiz ekspluatatsionnykh pokazatelei energeticheskoi effektivnosti gruzovykh teplovozov]. Vestnik RGUPS, 2018, Iss. 3, pp. 46–53. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35617875>. Last accessed 11.11.2021.

2. Kurmanova, L. S. Improving the efficiency of diesel locomotives by using gas fuel [Povyshenie effektivnosti raboty teplovozov putem primeneniya gazomotornogo topliva]. Izvestiya Transsiba, 2017, Iss. 3 (31), pp. 23–31. [Electronic resource]: [http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3\(31\).pdf](http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2017-3(31).pdf). Last accessed 11.11.2021.

3. Gapanovich, V. A. Introduction of gas-engine locomotives by JSC Russian Railways [Vnedrenie gazomotornykh lokomotivov v OAO «RZD»]. Zheleznodorozhny transport, 2017, Iss. 9, pp. 35–38. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29958751>. Last accessed 11.11.2021.

4. Nosyrev, D. Ya., Karyshev, D. Yu., Kabanov, P. A., Novikova, V. N. Features of the use of supercooled liquefied natural gas in power plants of locomotives [Osobennosti primeneniya pereokhlazhdennogo szhizhennogo prirodnogo gaza v energeticheskikh ustanovkakh lokomotivov]. Bulletin of SamGUPS, 2016, Iss. 1 (31), pp. 33–35. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25778497>. Last accessed 11.11.2021.





http://www.rzd-expo.ru/innovation/stock/locomotives_for_alternative_types_of_fuels/

5. Grigorovich, D. N., Sirotenko, I. V. Ensuring safety when using natural gas as a motor fuel for diesel locomotives [*Obespechenie bezopasnosti pri ispolzovanii prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva na teplovozhakh*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2013, Iss. 4, pp. 66–71. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19624065>. Last accessed 11.11.2021.
6. Zaytsev, A. A., Troitskiy, P. S. Freight Electric Multiple-Unit Trains as an Alternative to Locomotive Traction. Comparison and Analysis. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17 (3), pp. 72–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-72-81>.
7. Zaitsev, A. A., Troitskiy, P. S. Analysis of risk reduction in freight traffic during introduction of multi-unit freight electric trains [*Analiz snizheniya riskov v gruzovom dvizhenii pri vnedrenii motor-vagonnykh gruzovykh elektropoezdov*]. In: X International Symposium Eltrans-2019. 09–11 October 2019. St. Petersburg, PGUPS publ., 2019. DOI: 10.20295/1815-588X-2020-3-345-352. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43947020>. Last accessed 11.11.2021.
8. Kossov, V. S., Babkov, Yu. V., Sazonov, I. V. Locomotives running on liquefied natural gas [*Lokomotivy na szhizhennom prirodnom gaze*]. *Tyazheloe mashinostroenie*, 2016, Iss. 9, pp. 34–39. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27208290>. Last accessed 11.11.2021.
9. Buynosov, P. A., Laptev, S. I. Organisation of servicing and repair of GT1h gas turbine locomotives at the prospective range of the northern latitudinal route [*Organizatsiya obsluzhivaniya i remonta gazoturbovozov GT1h na perspektivnom poligone severnogo shirotnogo khoda*]. *Bulletin of Transport of the Volga Region*, 2019, Iss. 2 (74), pp. 16–21. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39184786>. Last accessed 11.11.2021.
10. Buynosov, P. A., Laptev, S. I. Organisation of maintenance and repair of GT1h gas turbine locomotives [*Organizatsiya obsluzhivaniya i remonta gazoturbovozov GT1h*]. *Vestnik UrGUPS*, 2018, Iss. 3 (39), pp. 43–55. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36351456>. Last accessed 11.11.2021.
11. Allen, G. F. The Worlds' Fastest Trains: From the Age of Steam to the TGV. Sparkford, Nr Yeovil, Somerset (United Kingdom). Patrick Stephens Limited, 1992, 200 p.
12. Tankeev, S. V., Grachev, N. V., Chernyshev, M. A., Prokhor, D. I. History of domestic gas engine locomotives [*Istoriya otechestvennykh gazomotornykh lokomotivov*]. *Lokomotiv*, 2021, Iss. 10, pp. 41–44. [Electronic resource (fee-for-service access)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46501839>. Last accessed 06.12.2021.
13. Voronova, Ya. D., Puzanov, D. A. History and development prospects of gas turbine traction [*Istoriya i perspektivy razvitiya gazoturbinnoi tyagi*]. *Lokomotiv*, 2020, Iss. 8, pp. 43–48. [Electronic resource (fee-for-service access)]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43566883>. Last accessed 11.11.2021.
14. Polin, P. A. Global trends in the use of natural gas on locomotives [*Mirovie tendentsii primeneniya prirodnogo gaza na lokomotivakh*]. *Lokomotiv*, 2018, Iss. 11, pp. 39–41. [Electronic resource (fee-for-service access)]: <http://scbist.com/xx2/51911-11-2018-mirovyie-tendentsii-primeneniya-prirodnogo-gaza-na-lokomotivah.html>. Last accessed 11.11.2021.
15. Fofanov, G. A., Grigorovich, D. N., Nestrakhov, A. S. Alternative fuels on rolling stock of railway transport [*Alternativnye vidy topliva na podvizhnom sostave zheleznodorozhnogo transporta*]. Ed. by Fofanov; G. A. Moscow, Intekst publ., 2008, 144 p. ●

Information about the author:

Troitsky, Pavel S., Technical Expert of Scientific Centre for Digital Models of Transportation and Energy Saving (NC DMTE) of Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia, paveltroitskiy@mail.ru.

Article received 11.11.2021, approved 22.12.2021, accepted 27.12.2021.

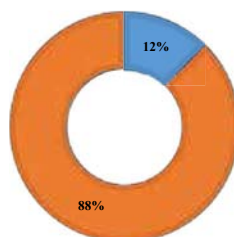
Editorial remark. The proposals outlined in the article certainly merit greater attention particularly in the context of economic reasoning and from the standpoint of investment costs implied by HSR construction. With that, the issue including by force of its relative novelty, does not seem currently univocal due to the need to consider the problem in its entirety including its engineering, technological, operational, environmental aspects. In this regard, the published paper might become a good starting point for scientific discussion and a subject of further perspective study.



LOGISTICS OUTSOURCING 160

Overview analysis of logistics outsourcing in the Republic of Azerbaijan followed by extended suggestions on the methodology of internal and external assessment by enterprises, potentially interested in outsourced logistics, allowing to confirm reasonableness of own needs and reliability of counterparties.

| Comparable factors |
|---|
| Assessment of key skills and experience |
| Cost estimation |
| Quality assessment |
| Risk assessment |
| Calculation of carrying capacity |
| Calculation of freight tracking rate |



FREIGHT TRANSPORTATION 165

Situational analysis applied to the cargo transportation market during the pandemics and the period of overcoming its consequences. Approaches to forecasting of the influence of post-pandemic situation on the development of core trends in Russian transport industry and individual modes of transport.

TRANSPORT SERVICES: COST MANAGEMENT 174

The task of developing tools and mechanisms for the purposes of service cost management is always relevant. Substantiation of application of parametrically nonlinear functions modelling customers' behaviour, as well as of algorithms of modern tools of comprehensive mathematical optimisation.

ECONOMICS





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-5>World of Transport and Transportation, 2021,
Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 160–164

The Method of Valuing of Logistic Outsourcing Services



Elman MEHDI OGLU NAJAFOV



Orkhan NIZAMI OGLU HASANLI

**Elman Mehdi Oglu Najafov¹,
Orkhan Nizami Oglu Hasanli²**

National Aviation Academy, Baku, Republic of
Azerbaijan.

✉ ¹ elmanmehdi@yandex.com,

² o.hasanli.n@gmail.com.

ABSTRACT

Outsourcing services widespread in developed countries have been used in the economic market of the Republic of Azerbaijan in recent years mainly in the fields of accounting, human resources, marketing, information technology and logistics.

Our previous study on «Logistics in the transport complex of the Republic of Azerbaijan» based on 11 criteria for the development of logistics outsourcing concluded that the lack of mutual trust between companies and their desire to maintain own control in most areas is one of the reasons explaining poor development of logistics outsourcing.

The proposed article proposes for discussion new criteria developed by us, in addition to ones existing and described in the scientific literature, to assess the existing concerns of companies

before concluding a mutual agreement in the field of outsourcing and to conduct internal and external evaluations of logistics outsourcing services.

Considering that the criteria described in the research papers do not fully cover the internal evaluation of logistics outsourcing services, an additional criterion of risk assessment was proposed by us. In addition to the criteria already known from the scientific sources, two other criteria were developed by us also for the external evaluation of logistics outsourcing services, those criteria reflect the capacity of logistics providers and tracking of vehicles in use.

The problem of unreliability and mistrust between companies and enterprises will be solved to some extent by making the optimal decisions through the new method discussed in this article.

Keywords: logistics, outsourcing, economics, transport logistics, 3PL, 4PL, evaluation method, logistics management.

For citation: Najafov, E. M., Hasanli, O. N. The Method of Valuing of Logistic Outsourcing Services. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 160–164. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-5>.

The Russian version of the article originally written in English is published in the first part of the issue.

Перевод на русский язык оригинального английского текста статьи публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Outsourcing is an area of focus for many researchers around the world. They have studied the effectiveness of outsourcing, application methods and other aspects of implementation of outsourcing in different fields. An example of this is the research conducted by D. McTernan on the application of outsourcing in financial matters. The author interviewed twenty experts and based on their opinions assessed the attitude of entrepreneurs to outsourcing and the prevalence of this service [1]. Another European expert, S. Lüttringhaus, Professor at Darmstadt Technical University, analysed the technical and financial problems in this field by applying the outsourcing service to a single enterprise [2]. Researchers from the University of Alicante in Spain, R. Gonzalez, J. Gasco, J. Llopis analysed in their research the application of outsourcing to information technology [3].

From our part, we also conducted a series of studies on outsourcing in Azerbaijan. Our research using the expert method revealed that logistics outsourcing services are relatively poorly developed in the transport complex of the Republic of Azerbaijan [4]. According to experts, many local companies have their own warehousing network, transport, and «natural» logistics facilities, and they don't have intention of renouncing them although they might reduce direct production or sales costs. Therefore, they don't rely on transferring most logistics services to foreign logistics intermediaries. In addition, experts, pointing out that the market of logistics intermediaries providing high level services at a reasonable price is relatively limited, highlighted that logistics in the country has received great development pursuant to the Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated December 6, 2016, which approved «Strategic Roadmap for Logistics and Trade Development» [5].

What are the reasons for the low prevalence of outsourcing in the Azerbaijani economic market? If we summarise the opinions of experts, we can conclude that companies do not trust logistics providers enough in terms of providing logistics services.

Objective of the research. To overcome this «unreliability», even if they trust each other, companies need to study and evaluate the service potential and quality of service of logistics providers who want to contract with them to provide outsourcing services. At the same time, companies need to identify and evaluate their areas of activity and make optimal decisions by comparing the proposals of logistics providers. Based on this assessment,

companies will be able to identify their weaknesses, as well as providers that offer professional services in this area. As the famous saying goes, «Everyone must do what he knows best». One of the biggest mistakes made by many companies is that they focus on secondary activities rather than on core activities that prevent them from achieving high quality results and low costs [6].

Of course, all of this requires a valuation method that companies will use. Turkish researcher Ö. Yilmaz's research on «Outsourcing in businesses and effects on business performance» outlined the criteria for internal and external evaluations (in terms of a company's key areas, costs, risks) [7]. However, we think that these criteria are not sufficient for companies to make an optimal decision on cooperation in the field of logistics outsourcing. To this end, we have developed a new method by adding two more criteria that concern companies: «freight tracking» and «providers' carrying capacity».

METHODOLOGY AND RESEARCH RESULTS

As mentioned above, companies must conduct internal and external assessments before deciding to use outsourcing services.

Internal Assessment

Internal assessment consists of the following steps.

1. Assessment of Key Skills and Experience

The basic competences of the enterprise are the most important area of application of the company's efforts. But can companies do enough? Do they have enough experienced and qualified staff to do this? For the evaluation of experience, the management of the enterprise should prepare a list of experienced staff with consideration of the qualifications, work experience, professional diplomas, and certificates of the employees. The practice criterion of the company is then determined by the following statement:

$$\frac{N_e}{N_w} = P_{com}.$$

Here, N_e denotes the number of experienced employees, N_w is the total number of now working employees, and P_{com} is the criterion for practice of company.

The practice criterion is rated from $0 < 1$. When the result is 1, the number of experienced employees is maximum and when it is 0, their number is the minimum. A score of more than 0,5 is considered effective [7].

2. Expense Estimation

At this stage it is necessary to identify areas that are more labour intensive and costly than the core and



supporting activities of the enterprise. Then, by determining the monthly total expenditure and expenditure on that area, the expense criteria are determined based on the following statement:

$$\frac{E_a}{E_t} = E_{com}.$$

Here, E_a is the expense of the being evaluated area, E_t is the total expense, and E_{com} is the expense criterion of company.

The expense criterion ranges from $0 < 1$. The desired result for enterprises is close to 0 [7].

3. Quality Assessment

At this stage, to determine the quality level of service provided by the enterprise, the total number of operations performed during a given period, as well as complaints (negative feedback, troubled relationships) should be determined. The quality criterion is then determined based on the following statement:

$$\frac{N_c}{N_s} = Q_{com}.$$

Here, N_c denotes the number of complaints, N_s is the total number of services provided (in numbers), and Q_{com} is the quality criterion of company.

The quality criterion ranges from $0 < 1$. If the result is close to 1, then it is a very negative indicator for the enterprise.

Besides, we also propose risk assessment assuming that the three criteria mentioned in the literature above do not fully cover the internal evaluation of logistics outsourcing services. Of course, safety is one of the most important factors when it comes to transportation. For this reason, it is important to assess safety and risks in transportation.

4. Risk Assessment

At this stage, the number of accidents and errors made during a certain period of operation of the enterprise is determined. The risk criterion is then calculated based on the following statement:

$$\frac{N_a}{N_s} = R_{com}.$$

Here, N_a denotes the number of accidents, errors, N_s represents the total number of logistics services rendered, and R_{com} represents the risk criterion of the company.

The risk criterion is rated from $0 < 1$. The result that is close to 1 is considered rather dangerous for the enterprise.

Based on the four-step evaluation in accordance with the above four criteria, enterprises can determine

areas where the use of outsourcing will be useful. Of course, these are areas where they are less experienced, more prone to mistakes, more costly, and riskier.

External Evaluation

After these stages been completed, the right choice of service providers, that is, external appraisal, becomes actual. Naturally, every enterprise desires an optimal, reliable, experienced cooperation. But how can you trust the service providers? What are the benefits of cooperation? To answer such questions, enterprises should also conduct an external evaluation. Unlike internal evaluation, the researchers offer a four-stage evaluation for external assessment.

1. Evaluation of service providers

At this stage, a survey method can be used to evaluate the service provider. The factors listed below in the questionnaire are assessed in the range of 0–10 points.

- Company recognition.
- Activity duration of company.
- The number of experienced employees in the field of activity.
- Repeated and new customers of the company (number, name, etc. of the other partner organisations).
- Financial capabilities of the company.
- Equipment and systems that are owned.
- Open communication opportunities (intensity of responding to clients' requests, breadth of communication facilities).

After the questionnaire has been compiled, the service provider's experience criterion is determined based on the following statement:

$$\frac{\sum P_f}{n} = P_{pro}.$$

Here, P_f represents the points given to the factors, n is the number of factors, and P_{pro} denotes the experience criterion of service providers [7].

High criterion of experience is a desirable result in the first stage of provider selection. However, this is not an indicator sufficient to sign an outsourcing contract. For this reason, it is essential that the service providers are financially viable.

2. Expense estimation

At this stage, the expense criterion is determined by the ratio of service provider's services cost to the total costs of the company:

$$\frac{E_{ap}}{E_{tp}} = E_{pro}.$$

Here, E_{ap} is the price for service, E_{tp} is the total expenses, and E_{pro} is the expense criterion of providers.

The expense criterion ranges from $0 < 1$, and enterprises are trying to get the result closer to 0. But, in assessing costs it is necessary to consider not only the cost of the service, but also the quantity and quality of the proposed works in return for the funds. For this reason, sometimes companies are interested in partnering with providers even if $E_{ap} > E_{tp}$ [7].

3. Assessment of service quality

At this stage, to determine the quality level of service provided by the service provider, it is necessary to determine the total amount of operations performed during a given period, as well as the number of complaints (negative feedback, troublesome relationships). The quality criterion is then determined based on the following statement:

$$\frac{N_{cp}}{N_{sp}} = Q_{pro}.$$

Here, N_{cp} refers to the number of complaints, N_{sp} – the total number of services provided (in numbers), and Q_{pro} – the quality criteria of providers.

The quality criterion ranges from $0 < 1$. The result close to 0, is what enterprises expect from their service providers. As noted in the internal assessment, the risk factor in transport is also important for external evaluation [7].

4. Risk Assessment

At this stage, the number of crashes and errors that have occurred during a certain period of service provider's activity is determined and the risk criterion is determined based on the following statement:

$$\frac{N_{ap}}{N_{sp}} = R_{pro}.$$

Here, N_{ap} refers to the number of accidents, errors, N_{sp} – the total number of services provided, and R_{pro} – the risk criterion of providers. The risk criterion is rated in the range of $0 < 1$.

Of course, companies require guaranteed service from a service provider in terms of reliability. That's why risk criterion is so important.

It is important to note that, in addition to the above-mentioned criteria, companies want to ensure that the shipments are delivered accurately and on time, and that they are always aware of the position and condition of goods. For this reason, in addition to the external evaluation criteria described in different sources, we offer two more criteria:

- Criterion for calculating carrying capacity.
- Criterion for tracing loads.

5. Calculation of carrying capacity

The following expression was prepared by us to describe the carrying capacity.

$$\frac{\sum_{i=1}^n L_v}{n} = C.$$

Here, L_v represents the load factor of a vehicle of logistics provider (t/km), n represents the number of flights operated by the vehicle (in numbers), and C represents the average utilisation coefficient of carrying capacity.

C criterion is an indicator of carrying capacity of the company to offer logistical outsourcing services. It will give some sort of answer to the question of whether opposite side can meet demand for transportation. C is rated in the range of $0 < 0,5 < 1$. With $C < 0,5$ criterion is considered effective, this result is a desirable indicator for companies. If C coefficient is rated in the range of $0,5 < 1$, logistics provider is considered to be partially overloaded, and it is supposed not able to fully meet the needs of new costumers for transportation.

6. The degree of tracking of freight

It is well known that one of the issues most worrying freight owners is the desire to be aware of where their cargo is, that is to track it. Of course, freight tracking is very important in terms of business planning and pre-load preparation for cargo operations. Therefore, the issue of tracking freight in modern transportation is at the forefront of the list of criteria required by logistics providers. To determine the degree of traceability of freight we offer the following statement:

$$\frac{N_{tv}}{N_t} = T.$$

Here, N_{tv} represents the number of trackable vehicles that can be used by the logistical provider, N_t the total number of vehicles used by the logistics provider, and T is the criterion for the tracking of cargo.

Tracking criterion is rated in the range of $0 < 1$. Of course, if the T coefficient is close to 1, then the number of trackable vehicles meets desires of enterprises.

The results obtained after all the evaluation stages allow you to select the right provider. However, it should be noted that before making the decision to cooperate with the providers, the results of internal and external evaluations must be met. To simplify the process, we have compiled an indicator table in Microsoft Excel that has been developed by using a correlation method (Pic. 1). This table is designed with a simple comparison function. Thus, it logically compares the results of internal and external



| No | Comparable factors | Internal assessment | External assessment | Indicators of conformity |
|----|---|---------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 | Assessment of key skills and experience | 0.50 | 0.50 | ✓ |
| 2 | Cost estimation | 0.25 | 0.30 | ✗ |
| 3 | Quality assessment | 0.33 | 0.23 | ✓ |
| 4 | Risk assessment | 0.27 | 0.11 | ✓ |
| 5 | Calculation of carrying capacity | | 0.30 | ✓ |
| 6 | Calculation of freight tracking rate | | 1.00 | ✓ |

Pic. 1. Table of result comparison [compiled by the authors].

evaluations and shows «appropriate» or «inappropriate» signs in the indicator column.

This table consists of four parts:

- Comparable criteria.
- Internal assessment results.
- Results of external evaluation.
- Indicator of conformity.

Conditional numbers have been added to illustrate the sample. If results are considered, we can see that the conformity indicator has made «eligible» statements regarding criteria 1, 3, 4, 5, and 6, and «inadequate» regarding criterion 2. Indicator variables vary according to internal and external evaluation of factors. Thus, it is easy to compare the results by entering the results in the table of indicators. If most of the results of this comparison are «appropriate», cooperation with logistics outsourcing companies can be considered successful.

As a result, as mentioned in the beginning of the article, the problem of mistrust and distrust between companies and enterprises, which is one of the reasons for the relatively weak development of outsourcing in the Azerbaijani economic market, will be solved by the right method by making the right decisions. With this new method, companies will be able to identify areas where they are inexperienced, that require more cost and are riskier, so that companies will be able to choose the optimal logistics providers.

CONCLUSIONS

The economic reforms in the country and the creation of a transparent business environment for entrepreneurs as a result of the serious struggle against monopoly in the market will affect less developed sectors of the Azerbaijani economy. Successful political and economic reforms, adopted strategic roadmap create favourable conditions for the study of

world experience in logistics outsourcing, for promotion of 3PL-logistics service providers and introduction of 4PL-logistics providers to the market. Along with the wide use of the outsourcing services model in modern management, in developed countries of the world, we have also been able recently to witness the transfer in the Azerbaijan economy of business processes management to the third party, establishment of plenty of enterprises. i.e., YOM Logistics Azerbaijan, Baku Logistics Centre, Business Service Centre [8]. The method presented by us will not only provide the necessary resources for enterprises that want to use outsourcing services but will also contribute to the development of logistics outsourcing services in the Azerbaijani economy.

REFERENCES

1. McTernan, David. Outsourcing in the financial services industry: A study of outsourcing strategies and their effects on performance, reputation and on relationships. MBA thesis. National College of Ireland, 2015.
2. Lüttringhaus, Sigrun. Outsourcing des Propertymanagements als Professional Service. Eine Analyse der Partnerwahl faktoren. Thesis for: Dr. rer. pol. Technische Universität Darmstadt, 2015.
3. Gonzalez, R., Gasco, J., Llopis, J. Information systems outsourcing: A Delphi study from Spain. *Business Process Management Journal*, 2010, Vol. 16, Iss. 2, pp. 244–263. DOI: 10.1108/14637151011035589.
4. Hasanli, O. N. Logistics in the transport complex of the Republic of Azerbaijan. Master thesis. Baku, NAA, 2017.
5. Strategic Roadmap for the development of logistics and trade in the Republic of Azerbaijan. Decree of the President of the Republic of Azerbaijan dated December 6, 2016.
6. Yuryev, S. V. Outsourcing as an element of modern economic relations. Monograph, St. Petersburg, St. Petersburg State University of Service and Economics, 2012, 166 p. ISBN 978-5-228-00621-8.
7. Yilmaz, Ö. Outsourcing in businesses and effects on business performance. *Balksşehir*, 2006, pp. 56–77.
8. Hasanli, O. N., Najafov, E. M. Analysis of the situation of logistics outsourcing services in the Republic of Azerbaijan. Baku, NAA, February readings series, 2019, pp. 131–133. ●

Information about the authors:

Najafov, Elman Mehdi Oglu, Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Air Transport Production of National Aviation Academy, Baku, Republic of Azerbaijan, elmanmehdi@yandex.com.

Hasanli, Orkhan Nizami Oglu, Lecturer at the Department of Air Transport Production of National Aviation Academy, Baku, Republic of Azerbaijan, o.hasanli.n@gmail.com.

Article received 20.11.2021, approved 25.12.2021, accepted 29.12.2021.



Situational Analysis of the Cargo Transportation Market and Prospects for Its Development



Anna D. Boger

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ a_boger@mail.ru.

Anna D. BOGER

ABSTRACT

The relevance of conducting a situational analysis of the cargo transportation market is based on its overall strategic importance in the context of economic development of the Russian Federation. Namely, being actively involved in both domestic and foreign economic activity, cargo transportation is a key one in the supply of goods, resources, food, and other cargo.

Such an analysis is of particular interest regarding the immediate pandemic and consequent period. It offers an opportunity to draw certain conclusions on change in quantitative indices (the total number of cargo transportation carried out decreased that somewhat complicated the situation of a number of business entities) as well as, to a certain extent, on adaptation of the tools of situational analysis to situations rather strongly influenced by unusual factors.

The subject of study described in the article is the process of conducting a situational analysis of the cargo transportation market to identify the main patterns for road, rail, and sea transportation. Besides, the data obtained through the analysis are the basis for

making basic forecasts for the future state of the entire cargo transportation sector.

The study involved in its context methods of analysis and synthesis of economic and statistical sources of information; at the same time, the author relied also on several empirical research methods and a SWOT analysis.

The results of the current study are ambiguous: on the one hand, one can observe overall development of the industry from the position of changing the structure composition of the market of cargo transportation, as well as note its sustainability relative to other areas. At the same time, the analysis of the state of cargo transportation that took shape during the pandemics can be considered as dependent to great extent on further impact of the consequences of the COVID-19 pandemic on the entire economy. It is nevertheless important that the cargo transportation has shown high adaptation ability regarding tuning of the activity under the conditions of fast changes in external economic environment and market situation.

Keywords: transport industry, cargo transportation, situational analysis, pandemic, state of the industry during the pandemic, COVID-19.

For citation: Boger, A. D. Situational Analysis of the Cargo Transportation Market and Prospects for Its Development. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 165–173. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The analysis of market segments during the pandemic and post-pandemic period is one of the ways to identify patterns in functioning of companies during a crisis. This mainly allows reflecting the current trends prevailing within the entire market, revealing the general state of individual components, and, on this basis, predicting promising directions for their development and transformation. Thus, within the framework of this article, it is planned to conduct a situational analysis of the activities of the cargo transportation market in the context of overcoming the consequences of the COVID-19 pandemic, which involves conducting an initial analysis of the situation that then requires further clarification, after expertise and analysis of the events that occurred during the period of 2021 will be shaped out, including generation of complete statistics. In addition, the relevance of the declared topic is determined by the strategic importance of this type of economic activity for the entire economy of the Russian Federation. The significance thereof is emphasised by the fact that cargo transportation (namely, rail, road, river, and sea freight transportation) occupies key position in the trade turnover, redistribution of resources and acts as the central link in the supply chain. From this standpoint, smoothing out the post-pandemic consequences (through development of a system of recommendatory measures that are relevant for various companies) will allow this market segment to be restored at an accelerated pace, and to return it into the range of pre-crisis indicators.

Thus, the *objective* of the study can be formulated as a comprehensive analysis of the cargo transportation market and the prospects for its further development.

RESEARCH METHODS

The study involved *methods* of analysis and synthesis of literary economic and statistical sources of information; in addition, the structure of operational analysis comprised particularly empirical methods of comparison, observation, abstraction, generalisation, and others. The context of situational analysis assumes mainly involvement of methods of statistical data analysis (their study in dynamics) and development of recommendations based on SWOT analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

At the present stage, the scale of the consequences of the COVID-19 pandemic is global. In particular, the cargo transportation market in such

conditions has undergone most important changes. As Bloomberg notes, due to the impact of some of the restrictions on the activities of the transport industry, in some regions there were difficulties resulted in breaking the supply chains of goods. This refers particularly to the activities of companies operating in the European and Asian markets. This has led to some risks arisen for the activities of many enterprises¹. In turn, governments have taken series of measures to minimise these delays [1]; so, the European Commission introduced measures to introduce «green lanes», which involved a number of mechanisms to ensure functioning of rail, water and air transportation within the Single Market².

Besides, many authors identify several specific patterns related to the impact of the pandemic on transport industry functioning. The work of Dominic Loske emphasises that the volume of transportation of dry products in retail logistics turned to be dependable on the number of new cases of infection per day, and this becomes a reason for the conflict of interest that arises between transport companies and logistics sector (in particular, grocery retail) [2]. The work of Elizabeth A. Mack [*et al*] made a number of clarifications regarding employment in the transport industry: the authors found that different transport sectors received different damage due to the pandemic's impact (companies whose activities were related to cargo transportation, namely the supply of food goods, were more sustainable). This also applies to the level of unemployment: employees in the transport sectors focused on working with people namely with passengers and not related to the delivery of goods lost their jobs 20,6 % more often than others [3].

Junyi Zhang, Yoshitsugu Hayashi and Lawrence D. Frank conducted an expert survey concerning impacts of coronavirus disease 2019 (COVID-19) on the transport sector and the corresponding policy measures. On average little bit more than 30 % of cities represented by respondents did not have guidelines nor contingency plans. «Experts reported that for all countries/regions, the percentages of cities/towns with guidelines of transport systems for public health threats prepared before the

¹ Bloomberg – Freight-Cost Pain Intensifies as Pandemic Rocks Ocean Shipping. [Electronic resource]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-04/freight-cost-pain-intensifies-as-pandemic-rocks-ocean-shipping>. Last accessed 26.11.2021.

² Transportation during the pandemic. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/transportation-during-pandemic_en. Last accessed 26.11.2021.

COVID-19 pandemic» differed significantly with regard to modes of transport: from 33,5 % for bus systems to only 6,7 % for river/canal transport systems. «13,9 % of experts reported that none of the above systems in their cities/towns had such guideline». From 33,8 % to 44,7 % of respondents did not know or were not sure whether respectively guidelines and contingency plans existed. The situation was rather similar in both developed and developing countries [4, pp. 70–71].

Considering the situation in Asian countries, it is important to note that in China in 2020, the greatest impact was observed in relation to sea cargo transportation [5]. At the same time, the work of Shan-Ju Ho [*et al*] put forward a hypothesis that from a macro level perspective, the pandemic would likely have a «positive impact on the road or water freight transport», which could be explained by extreme propensity of individuals and legal entities to stockpiling behaviour. Besides, changes in consumer behaviour in relation to food industry products indicate a parallel growth in the road transportation (in terms of freight transportation) due to acceleration of the distribution of food products through online channels [6].

Thus, the short analysis of the global situation indicates high losses in the transport industry within the markets of various countries. It should be noted that the judgments stated by the authors correlate with each other. So, objectively, regardless of the state and its contingency policy in relation to the COVID-19 pandemic, cargo transportation has reduced its turnover. However, the decline by country has a different structure: if in the EU countries road and air transport suffered the most, then in the PRC, maritime freight transport was more affected, which is due to several specific features of the countries and their direct correlation with the state of the transport industry.

Turning to the analysis of the main indicators of the transport industry in the Russian Federation, it is important to emphasise its strategic importance as of a special «conductor» of the entire economic system. This is since the transport industry, namely, cargo transportation, acts as a key link that completes the course of production processes, namely, it becomes the main component in the transfer of goods from producer to consumer. Besides, individual participants in the transport industry market, such as railway companies, act as conducting wires between key industrial facilities in the Russian Federation (including those under public control). At the same time, the same railway companies are active foreign trade

partners of foreign companies in the field of delivery of natural resources from the extractive industry of Russia [7].

The state of the transport industry determines the growth opportunities for the entire economic system by regulating supply of resources, products, as well as through transportation of basic (vital) goods to remote parts of the country. Thus, acting as an inseparable structural component at the junction of the social sphere and economic activity, transport occupies a special role in the structure of state development. It is also important to note the high dependence of many business entities on the activities of transport companies, the competition among which has been especially growing in recent years. All the above becomes the basis for studying the transport industry and assessing its state in the pre-crisis and post-crisis periods to identify the main patterns and changes [8].

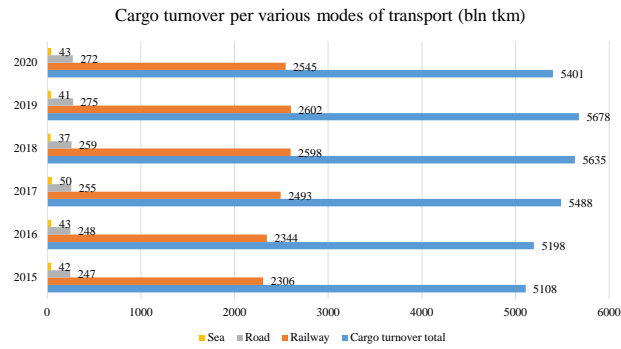
For example, touching on the significance of the transport industry purely in terms of gross domestic product (GDP), it can be noted that the share of the entire transport industry over the past three years has been in the range of 6,3–5,9 % (which is approximately comparable to the civil construction sector). Besides, in the period up to 2020, the balanced financial result of the transport industry contributed more than 7 % to the structure of the entire financial result of the economy of the Russian Federation. In 2019, more than 7,5 million people were employed in the transport industry, which is about 10 % of the total employed population of the country³.

However, it is important to note that during the crisis, many companies were exposed to risk factors; temporary cessation of the activities of some enterprises and companies has resulted in decrease in the volume of freight transportation, in cargo turnover, as well as to a parallel increase in tariffs for transportation of resources. In general, the statistics in the field of cargo transportation and vehicle ownership had the following values in the period from 2015 to 2020 (Pics. 1, 2, 3):

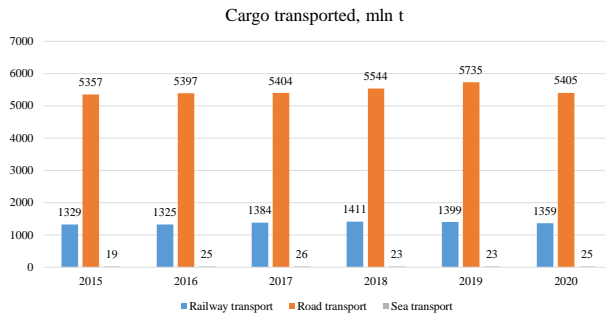
Thus, considering the data presented in Pic. 1, we can note a decrease in cargo turnover in 2020; moreover, most of the change, namely 2,2 %, falls on railway transport. In general, cargo turnover during the pandemic amounted to 95 % of the values of 2019. It is especially important to note the slight

³ Employment and unemployment in the Russian Federation. [Electronic resource]: <https://nangs.org/analytics/rosstat-zanyatost-i-bezrobotitsa-v-rossijskoj-federatsii>. Last accessed 26.11.2021.





Pic. 1. Cargo turnover per various modes of transport in the Russian Federation for the period from 2015 to 2020/ Compiled by the author based on Rosstat [Federal State Statistics Service] data.
[Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/GvBQVwRi/gruz-ob.xls>. Last accessed 26.11.2021.



Pic. 2. Cargo transported by modes of transport in the Russian Federation in the period 2015–2020. Compiled by the author based on Rosstat [Federal State Statistics Service] data.
[Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/V8oK4Mr3/per-gruz.xls>. Last accessed 26.11.2021.

growth observed in sea transport, which amounted to 2 billion tonne-kilometre (tkm).

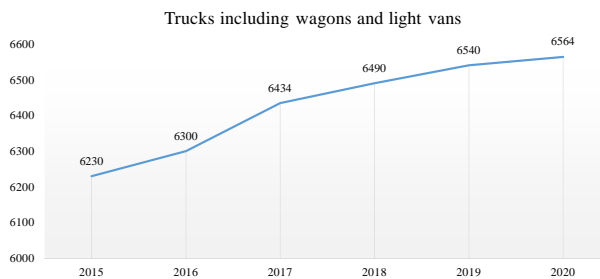
Referring to the indicators presented in Pic. 2, it is important to highlight that the largest change in the volume of transported goods was observed in 2020, the decrease was by 5,75 % or 5405 million tons; for railway transport, the decrease in the number of transported goods amounted to 2,85 %. Sea transport, on the contrary, increased the volume of cargo transported during the pandemic (however, it is important to note that in the overall structure, the rate of sea transport still occupies the lowest position, except for air transport). Despite the changes, road transport remains the leader in the cargo transportation market.

The decline in railway transportation can be referred to the position of the JSC Russian Railways as of key carriers of coal intended for power generation to foreign countries. Besides, railway transport in general has an active relationship with European countries, in which (during the COVID-19 pandemic) many business entities not only reduced their economic activity but almost ceased it. This resulted in structural changes in the area of supplying resources to European countries (as well as to the CIS

countries) by domestic transport and logistics companies, namely, in a reduction in exports⁴.

Modern research in the field of development of logistics services emphasises the particular relevance and growth in the importance of road transport in the overall structure of cargo transportation in the Russian Federation; however, at the same time, it can be noted that this fact does not exclude the high role of railway transport in transportation of especially large consignments of goods. So, comparing the indicators presented in Pics. 1 and 2, it is important to note that railway transport acts as the main one in transportation of large shipments of goods over longer distances. At the same time, several authors outline a special high prognostic value of the automotive industry in the framework of deliveries within the territory of the Russian Federation. At the same time, the work of R. S. Turlaev, Yu. G. Kuzmenko, I. Yu. Okolnishnikov notes that the maximum possibility of strengthening the position of road transport in the structure of cargo

⁴ The results of the foreign economic activity of the Russian Federation in 2020 [In Russian]. [Electronic resource]: https://economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7cbc60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_polugodie_2021.pdf. Last accessed 26.11.2021.

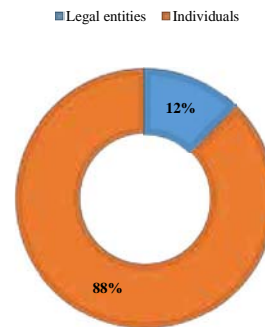


Pic. 3. Availability of vehicles, thousand units at the end of the year. Compiled by the author based on Rosstat [Federal State Statistics Service] data. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/RBGEdfZZ/nalich.xls>. Last accessed 26.11.2021.

transportation is being reduced due to the high average age of the fleet of trucks, most of them being over fifteen years old [9, P. 957]. At the same time, the overall indicators in the field of the number of cargo vehicles over the past six years are as shown in Pic. 3.

Moreover, in the structure of the ownership of freight vehicles, most vehicles are owned by citizens (about 85–87 % on average over the past six years). During the pandemic period, one can notice a decrease in the share of ownership of cargo vehicles by citizens and an increase in the number of vehicles owned by organisations of all types (small businesses not accounted). So, in the period from 2019 to 2020, the number of cargo vehicles owned by citizens decreased by 1,2 %; simultaneously, the growth of vehicles owned by organisations was of 6,07 %. This fact can be explained by the growing importance of the activities of organisations related to delivery of goods within the Russian Federation (large marketplaces, for example, Ozon, Wildberries companies) during the pandemic, and to corresponding expansion of their vehicle fleet [9; 10]. Thus, in 2020, distribution in vehicle ownership was as follows (Pic. 4).

Despite the magnitude of the indicators presented regarding road transport, in the general system of cargo turnover (according to the distribution of vehicles per mode of transport in the Russian Federation) in 2020, the leading place was occupied by railway transport⁵. Referring to the data presented in Pic. 5, it can be noted that over the past 20 years there has been a tendency towards growth of the share of railway transport. Simultaneously, the share of water transport is decreasing from year to year (in 2000 it represented 5,3 % of the total freight transportation, while by 2020 it has decreased to represent 2 % only). The indicators of the share of air transport cargo turnover are the lowest, but at the



Pic. 4. The distribution of truck ownership among citizens and business entities, small enterprises not accounted (compiled by the author).

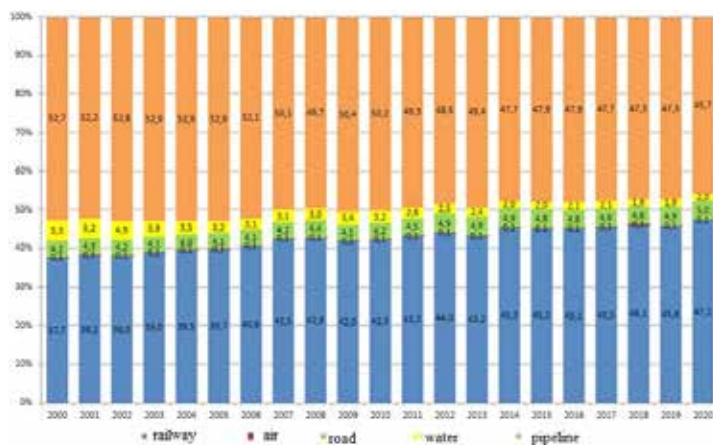
same time the most stable since they have not changed for 20 years. So, despite the increasing importance of road transport noted in the work of R. S. Turlaev [et al], although its indicators reflect a gradual increase, however, in comparison with railway and pipeline transport (namely, the dynamics of their growth) they don't show the highest results (the increase in volume over 20 years was 0,8 %). This can be explained by the high role of the first two modes of transport in foreign trade activities (namely, in the export of resources, fuel, as well as of some industrial goods).

In addition, considering implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation, it can be noted that its main provisions, in particular, those related to development of transport networks intended for energy producing enterprises and fuel exports, emphasise possible further continuing growth in cargo turnover of railway transport, which is dictated by the needs for development of foreign economic relations [11]. However, the provisions of the Transport strategy contain indications of the possibility of optimising logistics processes related to road transport and its activities in the territory of the Russian Federation. All this becomes the reason for assumptions that after restoration of the economic

⁵ Structure of cargo turnover per modes of transport in the Russian Federation. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/O7f8s2Rz/gruz-ob.jpg>. Last accessed 26.11.2021.



Structure of cargo turnover per modes of transport in the Russian Federation



Pic. 5. Structure of cargo turnover per modes of transport in the Russian Federation, in %.
 Compiled by the author based on Rosstat [Federal State Statistics Service] data. [Electronic resource]:
<https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/V8oK4Mr3/per-gruz.xls>. Last accessed 26.11.2021.

conditions at pre-pandemic values, there will be processes associated with an increase in cargo turnover by road, railway, pipeline, and air transport.

Thus, the analysis carried out allows us to draw some conclusions regarding the individual components of the transport industry of the Russian Federation.

1. Regarding railway transport, further growth in cargo turnover can be forecasted (after the recovery from COVID-19), which is imposed by increased orientation towards Eastern markets, as well as by parallel participation of the state in the railway industry as of a key innovative reformer [12]. In particular, the predominance of railway transport in terms of large-scale cargo transportation is explained by the impossibility of its replacement by other modes of transport. At the same time, the growth in volumes may indicate an increase in the number of transported goods in tonnes, however, even in this case, they will not exceed the indicators of road transport.

2. Regarding road transport, several trends indicate the route in the direction of continuous increase in volumes of cargo transported within the framework of moderate growth; this means that, despite the current general economic downturn, the volume of transportation in tonnes will continue to grow. After returning to pre-pandemic values, road transport will continue to play a key role in delivery of goods within the Russian Federation.

At the same time, some studies emphasise the increase in the strategic importance of road transport due to an increase in the number of cargo transportation to other countries [13–15]. Despite

this, the level of competition of international companies in the domestic market (DHL, SCHENKEN and others) will increase in parallel with the growth of the domestic market. However, it is worth noting that the observed trends towards development of the own vehicle fleet on the part of key Russian companies operating in the field of delivery of goods, food, and other cargoes may become a factor that will reduce the need to use the services of private enterprises and make them focus on implementation of their own cargo transportation between organisations.

3. Regarding sea transport, it is difficult to specify forecasts, since, in general, its dynamics from year to year reflects a downward trend. At the same time, after a partial economic recovery, profits in sea cargo transportation reflected strong growth⁶.

Thus, it can be emphasised that the impact of the pandemic, although, on the one hand, caused difficulties among a few companies, however, on the other hand, it made it possible to free the market from stagnant players, thereby creating the potential for development of new business entities. In general, emphasising stability of the cargo transportation sector, it can be noted that during the pandemic it experienced the least decline, especially in comparison with the passenger transportation sector. Regarding transport industry, its certain dependence on GDP of the Russian

⁶ Prices for transportation: market situation and forecast for the nearest future [In Russian]. [Electronic resource]: <https://seanews.ru/2021/07/27/ru-ceny-na-perevozki-situacija-na-rynke-i-prognoz-na-blizhajshee-budushhee/>. Last accessed 26.11.2021.

Federation can be noted, namely, the share of the transport industry is fairly stable in the overall GDP, and its numerical size depends on the final value of GDP. At the same time, many researchers predict a rapid growth in cargo transportation associated with the use of cars in the future; however, despite this, the importance of railway transport will not decrease, which is explained by its current general situation and steady growth in recent periods. In addition, these factors are enhanced by the provisions of the Transport Strategy of the Russian Federation and the focus on the export of resources, including those related to the fuel and energy complex.

Here are some of the main trends that have taken place in 2020:

1. A sharp (relative to the relative decline of the entire transport industry) increase in the importance of railway transport in the structure of cargo turnover (1,4 %).

2. Continued sustainable growth of the share road transport in the structure of cargo turnover despite its decline in industry indicators (growth amounted to 0,1 %).

3. Continued (but at the same time significantly slowed down) steady growth in the number of trucks.

4. Decrease in the number of goods (million tonnes) transported with trucks, which amounted to 5,75 %.

5. Changes in the structure of truck ownership by citizens and organisations towards a decrease in their number owned by individuals and an increase in number of those owned by organisations (an increase by 6,07 %).

Thus, based on the above data, it is necessary to carry out a SWOT analysis of the transport industry during the pandemic (2020) to clarify the forecasts and possibilities for the implementation and its pace regarding various trends in the field of cargo transportation (Pic. 6).

Thus, it can be noted that the current market of the Russian Federation is more open to transport companies: this is emphasised by the stable growth indicators of the industry (in terms of cargo transportation), as well as by current opportunities to further strengthen its own positions (which is facilitated by structural transformations taking place within the economy). At the same time, there are some threats to cargo transportation industry, which may be exacerbated in case of emergence of a new wave of the COVID-19 pandemic.

Correlating weaknesses and opportunities, it is important to note that the Transport Strategy of

the Russian Federation can become an occasion to improve the position of sea transport⁷. Besides, for large business actors, the growth of competition in the market at the present stage does not act as a broad problem.

The ratio of strengths and threats allows us to note that the high importance of the cargo transportation sector is becoming a factor that determines its greater independence from fuel prices and growth in tariffs. In this case, the final cost of cargo transportation, although it will affect their number, this will be compensated by the stability of large companies and technological modernisation (change of landmarks in the field of cargo transportation).

Weaknesses and threats together form a warning line, within which it is important to highlight the fact that current threats can become a major barrier to the use of modern opportunities. Thus, high competition and rising fuel costs, growth in transportation tariffs, can become factors that reduce the overall demand for the services of cargo transportation companies (in particular, road haulage companies), and this emphasises the special need for forecasting all aspects of activity and the high degree of dependence of organisations on further government actions [16].

The conducted SWOT analysis allows us to note that despite all the risks and weaknesses of the current transport industry of the Russian Federation, its steady growth and overall importance in the economic structure (during the pre-pandemic periods) become factors that exclude prerequisites to slow down its development below the development level of the entire economy. In general, the results of the analysis are correlated with current statistical indicators and the trends identified during their study, indicating a further increase in cargo transportation after the end of the pandemic impacts.

It is worth noting that some of the effects of the COVID-19 pandemic on the activities of transport companies have been mitigated due to their prompt actions. Namely, JSC Russian Railways, to stimulate activity against the backdrop of a decrease in demand for cargo transportation announced discounts for coal transportation. In addition, socially significant cargo in covered cars began to

⁷ Transport strategy of the Russian Federation till 2030 with the forecast up to 2035, approved by the Resolution of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r. [Electronic resource]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112030006?rangeSize=1>. Last accessed 01.12.2021.



| | |
|---|---|
| Strengths (S) | Weaknesses (W) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Reduction of competition in the market due to leaving of some organisations during the pandemic (mainly small market players), • High importance of the industry for the economy of the Russian Federation. • Sustainable performance indices of the industry in the entire structure of the economy. | <ul style="list-style-type: none"> • Uneven growth of individual components of the industry with the presence of intermittent indicators. • High level of competition in individual segments of the industry. • Importance of water transport being reduced. |
| Opportunities (O) | Threats (T) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Availability of prerequisites for development (Transport strategy of the Russian Federation and its conceptual provisions). • Growing importance of trucks (growth in their number owned by organisations, high importance of the volume of transported goods (million tonnes)). | <ul style="list-style-type: none"> • Increase in the cost of fuel. • Complex post-crisis (restoring) condition of the industry. • Repeated reinforcing of pandemic restrictions. • Increase of tariffs for cargo transportation. |

Pic. 6. SWOT-analysis of cargo transportation in the Russian Federation [compiled by the author].

be shipped 40 % cheaper; the number of food products loading during the pandemic increased for most of their items [17]. In the field of road freight transportation, during the pandemic, some organisations, instead of the usual export transportation, focused their forces to work within the domestic market; at the same time, one can note the growing importance of IT technologies in the activities of domestic organisations⁸. Thus, in general, the current decisions did not allow to fully contain the consequences of the crisis due to most rapid occurrence and volumes of threats, however, to some extent, they made it possible to prevent a decrease in the volume of cargo transportation, which became the reason for stable operation.

Thus, it can be noted that at present the volume of cargo transportation is recovering after a long decline. Today, the cargo transportation market has partially «freed itself» from unstable business players. This factor becomes decisive to implement an opportunity of structural innovations in the activities of newly formed organisations. Hence, the importance of focusing on current market trends, while considering current risks and opportunities.

Thus, correlating official statistics with the conducted SWOT analysis, it can be noted that today there is a huge potential for development of certain areas of activity in the field of cargo transportation. Namely, high importance and sustainability of the entire industry (relative to the structure of the Russian economy and its changes) indicate a clear opportunity to further reform, restructure and transform it [18]. For example, focusing not only on external, but also on domestic markets, allows transport organisations

to retain part of the profits and use it for investment activities. In addition, statistics indicate the continued market operations of the largest actors of the industry, which, together with current trends, is becoming a factor determining their importance in the context of the restoration of the entire cargo transportation industry and further development of innovations.

CONCLUSIONS

The results of the conducted situational analysis allow us to note that modern companies operating in the field of cargo transportation, despite all the difficulties that have arisen, have shown high resistance to market changes. In particular, 2020, despite active evolution of restrictions related to COVID-19, has become significant for development of railway transport: its share in the entire structure of cargo turnover increased by 1,4 %. At the same time, road transport, despite termination of activities by many small and medium-sized businesses, showed a small but still an increase in its share by 0,1 %. However, in the cargo transportation market, the pandemic has become an occasion to consider new other areas of activity and expand own influence within previously not implemented areas. Thus, after introduction of the total lockdown and growth of restrictive measures (accompanied by economic losses), companies engaged in cargo transportation to the countries of the European Union began to consider to a greater extent the prospect of the domestic market of the Russian Federation. At the same time, many companies began to expand their own fleet of trucks during the pandemic (an overall increase by 6,07 %). Issues related to the sea transport industry are problematic: a long-term decrease in the volume of transportation indicates a decrease in their competitiveness; at the same time, as of 2021, profits from implementation of certain measures began to increase, which creates

⁸ Logistics trends 2020–2021: impact of the COVID-19 pandemic on transportation. [Electronic resource]: <https://www.retail.ru/articles/logisticheskie-trendy-2020-2021-goda-vliyanie-pandemii-covid-19-na-perevozki/>. Last accessed 26.11.2021.

some uncertainty in the situation. Possible general conclusion can claim that transport system, namely its freight transportation segment, owns sufficient adaptive capacity to act under the impact of crisis phenomena similar to pandemic and to rapidly tune development instruments following changing external environment.

REFERENCES

1. Tardivo, A., Carrillo Zanuy, A., Sánchez Martín, C. COVID-19 Impact on Transport: A Paper from the Railways' Systems Research Perspective. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2021, Vol. 2675 (5), pp. 367–378. DOI: 10.1177/0361198121990674.
2. Loske, D. The impact of COVID-19 on transport volume and freight capacity dynamics: An empirical analysis in German food retail logistics. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, Vol. 6, 100165. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100165.
3. Mack, E. A., Agrawal, S., Wang, S. The impacts of the COVID-19 pandemic on transportation employment: A comparative analysis. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2021, Vol. 12, 100470. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100470.
4. Zhang, Junyi; Hayashi, Yoshitsugu; Frank, Lawrence D. COVID-19 and transport: Findings from a world-wide expert survey. *Transport Policy*, 2021, Vol. 103, pp. 68–85. DOI: 10.1016/j.tranpol.2021.01.011.
5. Kim, K. Impacts of COVID-19 on transportation: Summary and synthesis of interdisciplinary research. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2021, Vol. 9, 100305. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100305.
6. Ho, Shan-Ju; Xing, Wenwu; Wu, Wenmin; Lee, Chien-Chiang. The impact of COVID-19 on freight transport: Evidence from China. *MethodsX*, 2021, Vol. 8, 101200. DOI: 10.1016/j.mex.2020.101200.
7. Makeeva, E. Z., Lapteva, I. L. Analysis of the influence of development of the transport industry on elimination of disproportions in the economy of the Russian Federation [Analiz vliyaniya razvitiya transportnoi otrasli na ustranenie disproportii v ekonomike RF]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 2, pp. 33–41. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36975806>. Last accessed 26.11.2021.
8. Pugachyova, V. V., Vorotilova, O. A. Analysis and problems of development of the transport industry of the Russian Federation [Analiz i problemy razvitiya transportnoi otrasli RF]. In: Science and innovations in 21st century: topical issues, discoveries and achievements: collection of articles of 13th International scientific and practical conference. In 2 parts, Penza, May 20, 2019. Ed. by Gulyaev, G. Yu. Penza, Nauka i Prosveshchenie publ., 2019, pp. 33–35. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37599357>. Last accessed 26.11.2021.
9. Turlaev, R. S., Kuzmenko, Yu. G., Okolnishnikova, I. Yu. Development of the road cargo transportation on the market of transport and logistics services in Russia [Razvitie sfery avtomobilnykh gruzovykh perevozok na rynke transportno-logisticheskikh uslug Rossii]. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo*, 2021, Vol. 11, Iss. 4, pp. 947–964. DOI: 10.18334/ep.11.4.111953.
10. Kizim, A. A., Timinova, E. V. Improving the logistics management system of the leading Russian Internet retailer [Sovershenstvovanie sstemy upravleniya logistikoi vedushchego rossiiskogo internet-reitera]. *Nauka i obrazovanie: khozyaistvo i ekonomika; predprinimatelstvo; pravo i upravlenie*, 2015, Iss. 2 (57), pp. 35–40. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22897363>. Last accessed 26.11.2021.
11. Golovanov A. E., Zhiltsova T. V. The impact of coronavirus on the economies of countries and the world economy as a whole [Vliyaniye koronavirusa na ekonomiki stran i mirovuyu ekonomiku v tselom]. In: Modern economics: topical issues of theory and practice: Collection of articles of International scientific-practical conference, Penza, October 25, 2021. Penza: Nauka i Prosveshchenie publ., 2021, pp. 48–50. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46947269>. Last accessed 26.11.2021.
12. Mishanova, V. G., Stepanova, O. V. Internet trade in small towns [Internet-torgovlya v malyykh gorodakh]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2019, Iss. 11 (101), pp. 183–187. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42486738>. Last accessed 26.11.2021.
13. Chen, Q. Chinese and Russian transport corridors and the Belt and Road initiative: prospects of Sino-Russian cooperation. *R-economy*, 2020, Vol. 6 (2), 100–110. DOI: 10.15826/recon.2020.6.2.009.
14. Evseev, I. G. Analysis and increase in indicators of the efficiency index of the logistics system in the Russian Federation [Analiz i uvelicheniye pokazatelei indeksa effektivnosti logisticheskogo sistema v Rossiiskoi Federatsii]. *Logisticheskie sistemy v globalnoi ekonomike*, 2019, Iss. 9, pp. 320–323. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41464248>. Last accessed 26.11.2021.
15. Kondrashova, E. A., Dudov, A. Yu. Substantiation of the directions of development of the transport industry of the Russian Federation in the context of strategic management [Obosnovaniye napravlenii razvitiya transportnoi otrasli RF v kontekste strategicheskogo upravleniya]. In: Donetsk Readings 2021: education, science, innovations, culture and challenges of our time: proceedings of 6th International scientific conference, Donetsk, October 26–27, 2021. Donetsk National University, 2021, pp. 30–32. [Electronic resource]: https://donnu.ru/public/files/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%20%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8%2C%20%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C%201_0.pdf. Last accessed 26.11.2021.
16. Douglas, M. A. Motor-Carrier Safety: A Review and Research Recommendations for 2020 and Beyond. *Transportation Journal*, 2021, Vol. 60, Iss. 2, pp. 93–140. DOI: 10.5325/transportationj.60.2.0093.
17. Savushkina, Yu. V. Railway industry in the context of COVID-19 [Zheleznodorozhnaya industriya v usloviyakh COVID-19]. *Innovatsii i investitsii*, 2020, Iss. 6, pp. 291–293. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43180453>. Last accessed 26.11.2021.
18. Chudaikina, T. N., Zolotov, A. O. The role of various modes of transport in the transport industry of the Russian Federation [Rol razlichnykh vidov transporta v transportnoi otrasli RF]. *Alleya nauki*, 2019, Vol. 2, Iss. 2 (29), pp. 145–148. [Electronic resource]: https://alley-science.ru/domains_data/files/03February2019/ROL%20RAZLICHNYH%20VIDOV%20TRANSPORTA%20V%20TRANSPORTNOY%20OTRASLI%20RF.pdf. Last accessed 26.11.2021.

Information about the author:

Boger, Anna D., Ph.D. student of Russian University of Transport, Moscow, Russia, a_boger@mail.ru.

Article received 21.10.2021, approved 26.11.2021, accepted 20.12.2021.





New Approaches to Pricing Management of Transport Services



Sergey S. PASTUKHOV



Konstantin V. STELMASHENKO

Sergey S. Pastukhov¹, Konstantin V. Stelmashenko²

^{1,2} Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia.

✉ ¹pastuhovsergey@bk.ru,

²Stelmashenko.Konstantin@vniizht.ru.

ABSTRACT

Development of new approaches to formation of analytics mechanisms for the purpose of pricing management of services is an important aspect of increasing the efficiency of transport management processes.

Research aimed at improving the tools for determining the optimal parameters of the ratio of quality and price of service for formation of a competitive and efficient tariff policy continues to remain relevant and in demand in modern market conditions.

The objective of the study, presented in the article, is to analyse and evaluate the prospects for implementation of the areas to improve the apparatus for assessing the price elasticity of demand for railway passenger transport services as the transition to the use of non-linear parameters in terms of customer behaviour modelling functions, as well as introduction of the most effective algorithms from the set of modern global mathematical optimisation tools.

The research conclusions are based on the use of system analysis mechanisms, methods of economic and mathematical modelling and optimisation, as well as of non-parametric statistics tools.

The results based on the use of an array of data on the demand of passengers of branded trains include: a comparative assessment of quality of modelling the price elasticity of demand using 15 functions that are nonlinear in terms of parameters; the most promising tools of the search for unknown parameters for non-smooth nonlinear functions for modelling the behaviour of railway customers are identified based on a three-stage procedure for comparative analysis of the performance of more than 60 optimisation algorithms (including the calculation of minima and medians for the sums of squares of modelling errors, bootstrap analysis, Kruskal–Wallace and Mann–Whitney tests, as well as the calculation of a metric specially developed by the authors for assessing the degree of superiority of one algorithm over another within the framework of non-parametric analysis).

The findings seem able to be successfully used in relation to other modes of transport in solving similar problems of developing an effective toolkit for managing the prices of transport services.

Keywords: transport management, passenger transportation, tariff policy, price elasticity of demand, economic and mathematical models, heuristic optimisation algorithms, revenue management system.

For citation: Pastukhov, S. S., Stelmashenko, K. V. New Approaches to Pricing Management of Transport Services. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 174–186. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-7>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Studies devoted to development of approaches to managing the prices of transport services based on implementation of effective mechanisms for modelling customer behaviour to find the optimal parameters for the ratio of quality and cost of service are in demand and relevant.

The implementation of comprehensive programs to improve efficiency, the growth of customer focus and improvement of quality of services provided continue, in accordance with the provisions of the Long-Term Development Program¹, to remain important areas of application of the strategy for ensuring high competitiveness of JSC Russian Railways in today's market conditions.

The railway transport management in the passenger transportation market, over the past 15 years, has significant progressed in terms of development of a methodology for modelling customer behaviour for pricing purposes based on a study of price elasticity of demand, the main milestones of which include:

- Development of a mechanism for determining the optimal cost intervals for solvent demand for additional services in trains, based on a scenario analysis of respondents' answers about marginal prices using ranking scales of price ranges [1, pp. 45–47; 2, pp. 128–132].
- Development of tools for estimating optimal tariffs for suburban season tickets by modelling the process of customers' decision to choose a trip [3, pp. 51–63].
- Substantiation of the concept and approaches to implementation of dynamic pricing and management of profitability of long-distance passenger transportation [4, pp. 27–30].
- Development of an apparatus of economic and mathematical models for managing profitability of domestic long-distance passenger transportation within the framework of a dynamic pricing system [5, pp. 10–15; 6, pp. 33–39].
- Development of tools for determining the optimal cost of passenger service based on economic and mathematical modelling using linear parameters [2, pp. 123–128; 7, pp. 10–20] and, later on, essentially non-linear [8, pp. 50–59] forms of models for assessing price elasticity of demand.

¹ Long-term development program of JSC RZD until 2025 (approved by the order of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019, No. 466-r). [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/553927831?marker=64U0IK>. Last accessed 01.05.2021.

• Improvement of the apparatus of economic and mathematical models for managing economic efficiency based on the combination of dynamic pricing tools with mechanisms for analysing competitors' tariffs [9, pp. 53–62] and approaches to determining the optimal number of cars within passenger trains [10, pp. 343–350].

The *objective* of the study, the results of which are presented in the article, is further consistent development of mechanisms for managing the prices of transport services based on improving the processes of predicting the behaviour of passengers by choosing new promising functions for analysing the price elasticity of demand, as well as searching for and applying the most effective algorithms for global mathematical optimisation.

RESULTS

Alternative Models for Analysing Price Elasticity of Demand

The work [8, p. 51] examined five non-linear, in terms of parameters, forms of economic-mathematical models of price elasticity analysis for use in automated yield management systems: Gompertz, Pearl–Reed, Verhulst models, as well as two variants of Weibull model: respectively two-parameter (W2b) and four-parameter (W4b) variants. However, there are other, widely used in practice, alternative functional forms of nonlinear models, the study of which may be promising for improving the efficiency of the analysis of the elasticity of demand in the framework of managing the prices of transportation and related services in railway transport:

• Model of Little, also known as ADBUDG [11, pp. 484–485]:

$$y(x) = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1)x^{\beta_3} / (\beta_4 + x^{\beta_3}), \tag{1}$$

where $y(x)$ is simulated dependence of the demand for a service on its cost;

β – coefficients obtained during optimisation.

• Logit model [12, pp. 78–79]:

$$y(x) = \beta_1 \exp(\beta_2 + \beta_3 x) / (1 + \exp(\beta_2 + \beta_3 x)). \tag{2}$$

• Ratio model [13, p. 1].

• Rat-03 model:

$$y(x) = \beta_1 / (x^3 + \beta_2 x^2 + \beta_3 x + \beta_4). \tag{3}$$

• Rat-12 model:

$$y(x) = (\beta_1 x + \beta_2) / (x^2 + \beta_3 x + \beta_4). \tag{4}$$

• Rat-13 model:

$$y(x) = (\beta_1 x + \beta_2) / (x^3 + \beta_3 x^2 + \beta_4 x + \beta_5). \tag{5}$$

• Rat-21 model:

$$y(x) = (\beta_1 x^2 + \beta_2 x + \beta_3) / (x + \beta_4). \tag{6}$$



- Rat-22 model:

$$y(x) = (\beta_1 x^2 + \beta_2 x + \beta_3) / (x^2 + \beta_4 x + \beta_5). \quad (7)$$

- Ratkowsky's model [14, pp. 1–5]:

$$y(x) = \beta_1 / (1 + \exp(-\beta_2 - \beta_3 x))^{1/\beta_4}. \quad (8)$$

- Richards model [15, pp. 290–300]:

$$y(x) = \beta_1 / ((1 + \beta_2 \exp(-\beta_3 x))^{1/\beta_4}). \quad (9)$$

• Model of an exponent with double stretching, further called DWM (Double Weibullian Model) [16, pp. 139–159; 17, pp. 4402–4412]:

$$y(x) = \beta_1 \cdot \exp((x/\beta_2)^{\beta_3} - (x/\beta_4)^{\beta_5}). \quad (10)$$

The authors decided to compare the effectiveness of the above models (forms 1–10) with other five models previously presented in [8, p. 51], when used in relation to the array of information on price elasticity of demand, obtained from the results of a questionnaire survey of 3,5 thousand passengers of branded trains (a detailed description of the process of obtaining and processing the initial data is presented in [7, pp. 12–16]), run on Moscow–St. Petersburg route, in the context of studying the following eight data clusters characterising the demand for:

- 1) «Internet» service in compartment carriages of branded trains.
- 2) «Internet» service in the SV [extra comfort] carriages of branded trains.
- 3) «Communication» service in compartment carriages of branded trains.
- 4) «Communication» service in the SV carriages of branded trains.
- 5) Economy class compartment tickets of train No. 3/4 «Branded Express».
- 6) SV business class tickets of train No. 3/4 «Branded Express».
- 7) Economy class compartment tickets of train No. 5/6 «Nikolaevsky Express».
- 8) SV business class tickets of train No. 5/6 «Nikolaevsky Express».

The work [8, p. 55] according to the results of a comparative analysis of quality of estimation of the optimal parameters of the studied forms of models, identified Levenberg–Marquardt algorithm (hereinafter LM) as the most effective, therefore it was originally chosen to search for unknown parameters of the studied models (formulas 1–10). This algorithm, described in detail in [18, pp. 105–116], is based on the criterion of minimising the sum of squared errors of the model (hereinafter SSE), which, for the purposes of comparability, was implemented

in all the considered optimisation algorithms [8, p. 52].

In the framework of this article, the authors decided to use the SSE minimum not only as a criterion for optimising unknown parameters, but also to use it as guideline when comparing quality of the optimisation algorithms, as well as effectiveness of the studied functional forms for pricing purposes. Nevertheless, it is worth noting that, before introducing pricing into practice, it is still advisable to make comparisons using indicators that are more convenient for management purposes, including [8, pp. 52–53] «integral criterion for the comparative error of the model in the studied group», «adjusted index of determination», «module parameter mean average deviation» (hereinafter MAD).

The resulting values of the minimum SSE obtained by the authors based on the results of 15 runs of the LM algorithm, which characterise effectiveness of using various functional forms of modelling in each of eight clusters studied (Table 1), allow us to conclude that the choice of Pearl–Read model as a starting point in the analysis of price elasticity demand for transport services is still an excellent solution (in [8, pp. 54–55] this model has already been noted as one of the most promising, demonstrating the highest efficiency in terms of the minimum MAD criterion).

At the same time, the LM algorithm did not converge for Richards and DWM models in any of the studied clusters, which is associated with gradient estimation problems due to non-smoothness of these nonlinear functional forms. To solve this problem, the authors, taking into account the analysis of the properties of these functions and the specifics of using models in the practice of price elasticity analysis, limited the areas of starting search points for unknown variables (in the first approximation, from –10 to 10 for unknown power parameters and from –50 to 50 for the remaining unknown quantities), after which it became possible to use optimisation algorithms based on construction of trust regions by the following methods: of the inner point (Trust Region Inner Point Method, hereinafter TRIPM, a detailed description of which is presented in [19, pp. 578–583]) and of sequential quadratic

Table 1

Results of optimising the parameters of nonlinear forms of modelling price elasticity of demand (LM algorithm) [performed by the authors]

| Model form | Studied data cluster in the array of the initial information | | | | | | | | |
|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Total |
| Minimum SSE based on the results of 15 runs, units | | | | | | | | | |
| Gompertz | 0,0101 | 0,0329 | 0,0301 | 0,0690 | 0,0685 | 0,0990 | 0,0282 | 0,0283 | 0,3661 |
| Pearl–Read | 0,0072 | 0,0106 | 0,0095 | 0,0162 | 0,0498 | 0,0674 | 0,0282 | 0,0198 | 0,2088 |
| Verhulst | 0,0080 | 0,0254 | 0,0256 | 0,0590 | 0,0508 | 0,0732 | 0,0317 | 0,0373 | 0,3110 |
| W2b | 0,0078 | 0,0261 | 0,0261 | 0,0590 | 0,0564 | 0,0843 | 0,0329 | 0,0450 | 0,3376 |
| W4b | 0,0071 | 0,0170 | 0,0172 | 0,0448 | 0,0527 | 0,0724 | 0,0304 | 0,0381 | 0,2796 |
| Little | 0,0084 | 0,0098 | 0,0127 | 0,0286 | 0,0457 | 0,0422 | 0,0686 | 0,0529 | 0,2689 |
| Logit | 0,0080 | 0,0254 | 0,0256 | 0,0590 | 0,0508 | 0,0317 | 0,0732 | 0,0373 | 0,3110 |
| Rat-03 | 0,0075 | 0,0096 | 0,0127 | 0,0226 | 0,0623 | 0,0497 | 0,0925 | 0,0653 | 0,3221 |
| Rat-12 | 0,0074 | 0,0096 | 0,0130 | 0,0178 | 0,0908 | 0,0671 | 0,1021 | 0,0694 | 0,3772 |
| Rat-13 | 0,0072 | 0,0096 | 0,0122 | 0,0096 | 0,0459 | 0,0403 | 0,0728 | 0,0423 | 0,2400 |
| Rat-21 | 0,0159 | 0,0403 | 0,0746 | 0,0733 | 0,3957 | 0,1889 | 0,1949 | 0,1870 | 1,1706 |
| Rat-22 | 0,0072 | 0,0080 | 0,0129 | 0,0049 | 0,0533 | 0,0446 | 0,0778 | 0,0351 | 0,2439 |
| Ratkowsky's | 0,0172 | 0,0457 | 0,0880 | 0,0857 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0283 | 0,4068 |
| Richards | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| DWM | – | – | – | – | – | – | – | – | – |

Note: SSE values are rounded to the fourth decimal places.

programming (hereinafter referred to as TRSQP, described in [19, pp. 546–554]). Since out of 15 runs of TRIPM and TRSQP in terms of clusters, less than 30 % were successful in terms of convergence, the MultiStart method was applied, when 30 starting points were used in each run, selected from specified intervals based on a uniform distribution using the pseudo-random number generator, Mersenne twister ([20, pp. 3–30]). As a result, for the considered data array within the framework of each of the 15 runs for each of the clusters, it was possible to

obtain solutions suitable for further comparative analysis (Table 2).

It should be noted that TRIM and TRSQP, considering the peculiarities of their construction, do not guarantee obtaining global minima in the case of non-smooth functions. Moreover, even when using MultiStart, it is still impossible to completely exclude a possibility that the algorithms will not give a single acceptable solution within the given time intervals, which can be a serious obstacle to their application in the practice of managing the prices of transport

Table 2

Results of optimising the parameters of nonlinear forms of modelling price elasticity of demand (algorithms: TRIPM and TRSQP) [performed by the authors]

| Model form | Studied cluster of data in the array of initial information | | | | | | | | |
|---|---|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Total |
| Minimum SSE based on the results of 15 runs of TRIPM with multistart, units | | | | | | | | | |
| Richards | 0,0073 | 0,0101 | 0,0155 | 0,0238 | 0,0454 | 0,0683 | 0,0282 | 0,0278 | 0,2264 |
| DWM | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0106 | 0,0518 | 0,0784 | 0,0291 | 0,0197 | 0,2296 |
| Minimum SSE based on the results of 15 runs of TRSQP with multistart, units | | | | | | | | | |
| Richards | 0,0073 | 0,0101 | 0,0155 | 0,0238 | 0,0454 | 0,0683 | 0,2615 | 0,0921 | 0,5240 |
| DWM | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0838 | 0,0318 | 0,0388 | 0,3139 |

Note: SSE values are rounded to fourth decimal places.



Table 3

General information about heuristic optimisation algorithms [compiled by the authors]

| Full name and description of the algorithm methodology | Abbreviation |
|--|--------------|
| «Artificial bee colony algorithm» [21, pp. 19–30] | ABC |
| «Ant colony optimization for continuous domains» [22, pp. 1155–1173] | ACOR |
| «Artificial ecosystem-based optimization» [23, pp. 9383–9425] | AEO |
| «Autonomous groups particle swarm optimization» [24, pp. 4683–4697] | AGPSO |
| «Antlion optimizer» [25, pp. 80–89] | ALO |
| «Aquila optimizer» [26, pp. 1–16] | AO |
| «Bat algorithm» [27, pp. 313–315] | BAT |
| «Biogeography-Based optimization» [28, pp. 702–713] | BBO |
| «A modified bees algorithm with statistics-based tuning parameters» [29, pp. 287–301] | BeAm |
| «The standard bees algorithm» [30, pp. 2919–2938] | BeAs |
| «Bacterial foraging optimization» [31, pp. 52–67] | BFO |
| «Black-Hole-Based optimization» [32, pp. 879–888] | BHBO |
| «Cultural algorithm» [33, pp. 187–192] | CA |
| «Chaos Game optimization» [34, pp. 917–1004] | CGO |
| «The clonal selection principle optimization» [35, pp. 239–251] | CLONALG |
| «Coyote optimization algorithm» [36, pp. 2633–2640] | COA |
| «Constriction coefficient particle swarm optimization» [37, pp. 58–73] | CPSO |
| «Cuckoo search algorithm» [27, pp. 306–312] | CS |
| «Dragonfly algorithm» [38, pp. 1053–1073] | DAO |
| «Differential evolution» [39, pp. 341–359] | DE |
| «Hybrid particle swarm with differential evolution» [40, pp. 629–640] | DEPSO |
| «Earthquake optimization algorithm» [41, pp. 78–86] | EQOA |
| «Equilibrium optimizer» [42, pp. 1–19] | EOA |
| «Firefly algorithm» [43, pp. 209–218] | FA |
| «Flower pollination algorithm» [27, pp. 315–318] | FPA |
| «Real-coded genetic algorithm» [44, pp. 2276–2280] | GA |
| «Generalized normal distribution optimization» [45, pp. 1–21] | GNDO |
| «Grasshopper optimisation algorithm» [46, pp. 30–47] | GOA |
| «Gaussian Quantum-behaved particle swarm» [47, pp. 1676–1683] | GQPSO |
| «Generalized simulated annealing optimization» [48, pp. 216–220] | GSA |
| «Grey wolf optimizer» [49, pp. 46–61] | GWO |
| «Heap-based optimizer» [50, pp. 1–17] | HBO |
| «Harris hawks optimization» [51, pp. 849–872] | HHO |
| «Harmony search» [33, pp. 182–186] | HS |
| «Imperialist competitive algorithm» [21, pp. 51–65] | ICA |
| «An improved grey wolf optimizer» [52, pp. 1–37] | IGWO |
| «Adaptive differential evolution with optional external archive» [53, pp. 945–958] | JADE |
| «Inertia based particle swarm optimization» [54, pp. 32–41] | IPSO |
| «Invasive weed optimization» [55, pp. 355–366] | IWO |
| «Jaya optimization» [56, pp. 19–34] | JAYA |
| «Mexican Axolotl Optimization» [57, pp. 1–20] | MAO |
| «Marine predators algorithm» [58, pp. 1–23] | MPA |
| «Manta ray foraging optimization» [59, pp. 1–20] | MRFO |
| «Multi-Verse optimizer» [60, pp. 495–513] | MVO |
| «Neighborhood consensus continuous optimization» [61, pp. 115–141] | NCCO |
| «Nelder Mead optimization algorithm» [62, pp. 973–980] | NM |
| «Standart particle swarm optimization» [33, pp. 232–237] | SPSO |
| «Queueing search algorithm» [63, pp. 464–490] | QSO |
| «Real-coded adaptive simulated annealing optimization» [27, pp. 287–290] | SA |
| «Shuffled complex-self adaptive hybrid evolution algorithm» [64, pp. 215–235] | SC-SAHEL |
| «Shuffled complex evolution» [65, pp. 501–521] | SCE-UA |
| «Sunflower optimization» [66, pp. 619–626] | SFO |
| «Salp swarm agorithm» [67, pp. 163–191] | SSA |
| «A two-stage state transition algorithm» [68, pp. 1–13] | STA |
| «Time-varying asymmetric acceleration particle swarm optimization» [69, pp. 2134–2139] | TACPSO |
| «Teaching-Learning-Based optimization algorithm» [21, pp. 41–49] | TLBO |
| «Tug of war optimization algorithm» [21, pp. 123–135] | TWO |
| «Vibrating particles system optimization algorithm» [21, pp. 153–165] | VPS |
| «Water evaporation optimization algorithm» [21, pp. 138–152] | WEO |
| «Whale optimization algorithm» [70, pp. 51–67] | WOA |

services in railway transport. Therefore, as an alternative approach to finding optimums for Richards and DWM models (taking into account the prospects for their use, according to the results presented in Table 2), it was decided to consider the use of global optimisation heuristic algorithms, which were originally designed in such a way that, with a limited computation time, to find steadily good solutions, even in the case of non-smooth nonlinear functions in a multidimensional environment of unknown variables.

Selection of Heuristic Global Optimisation Algorithms for Use in Pricing Management of Transport Services

In [8, p. 52], only three variants of heuristic numerical optimisation were considered, and Nelder–Mead method (hereinafter NM) turned to be the best of them (in terms of the minimum SSE in all clusters), but it, nevertheless, was significantly inferior in efficiency to LM algorithm [8, p. 57]. However, in recent decades, there has been significant progress in development of the theory of global optimisation heuristics, which resulted in the emergence of many publicly available (without restraints on their refinement and commercial use) algorithms, often accompanied by examples of source code descriptions in programming languages (R, Python, Matlab, Ruby). The convenience of practical work with them in currently widespread free interactive software development environments: Rstudio, Spyder, GNU Octave (supporting Matlab syntax), as well as a significant increase in the computing power of modern computers, provide broad prospects for rapid development and integration of the best solutions into existing software complexes serving numerous processes of sectoral management, including pricing. Therefore, to determine the most effective approach to optimising the parameters of non-smooth nonlinear models used to assess the price elasticity of demand, the authors conducted a comparative analysis of the work of 60 stochastic heuristic optimisation algorithms (Table 3), which included three main stages: selection of the best 25 % by the minimum SSE; down to 10 % list shortening based on SSE median analysis; final selection of several most promising

algorithms based on non-parametric methods of statistical analysis.

To reduce the volume of calculations, it was decided to first select the most promising algorithms based on optimisation of DWM model and only after that to optimise for Richards model.

The results of estimating the minimum SSE in the context of the studied clusters based on the results of 15 runs of heuristic optimisation algorithms for DWM model (with a change in initialisation value of the pseudo-random number generator Mersenne twister during each of them), as well as a run time limit (no more than 12 seconds) for optimisation within the run are presented in Table 4.

The results of ranking the studied global optimisation heuristics (Table 4) show that the total minimum SSE of the studied clusters for each of the 15 best algorithms (25 % of the total) is lower than that of TRIPM algorithm with MultiStart (Table 2), which indicates high potential for their practical use.

The criterion for the minimum value of SSE, achieved by the results of 15 runs, reflects such aspects of efficiency of the optimisation algorithm as moving in the space of problem dimensions and searching in promising local areas, but for practical use in pricing, given the stochastic nature of all considered heuristic algorithms, the stability criterion is most important, reflecting thus a probability that the algorithm can find the minimum SSE in fewer runs. Therefore, to consider the stability criterion, a comparison of SSE medians was carried out, the results of which for the 18 best algorithms are presented in Table 5.

The results of comparing SSE medians (Table 4) show that the CS algorithm is the most stable. It should be noted that in terms of the total minimum SSE, it did not take a leading position only because of the results of work in the fourth studied cluster. The top five also included MRFO, FPA and TLBO, which, given their leadership in minimum SSE, makes them clear favourites. At the same time, SC-SAHSL, although it achieved the lowest SSE values compared to other algorithms, did so during only a small number of runs (i.e., with a lower probability), demonstrating significantly less competitive results in other cases, which is especially



Table 4

Algorithm ranking by minimum SSE for DWM model [performed by the authors]

| Algorithm | Studied cluster of data in the array of initial information | | | | | | | |
|---|---|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Minimum SSE based on the results of 15 runs of the algorithm, units | | | | | | | | |
| SC-SAHEL | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0110 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 |
| MRFO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0109 | 0,0510 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 |
| FPA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0106 | 0,0509 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 |
| TLBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0108 | 0,0510 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 |
| CS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0118 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 |
| CGO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0213 |
| EOA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0133 | 0,0510 | 0,0278 | 0,0749 | 0,0206 |
| FA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0141 | 0,0511 | 0,0278 | 0,0750 | 0,0197 |
| WEO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0196 | 0,0142 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0200 |
| AEO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0205 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0279 | 0,0748 | 0,0233 |
| VPS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0141 | 0,0511 | 0,0291 | 0,0749 | 0,0206 |
| GND0 | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0104 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 |
| STA | 0,0069 | 0,0076 | 0,0194 | 0,0144 | 0,0520 | 0,0278 | 0,0760 | 0,0197 |
| AGPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0124 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0750 | 0,0248 |
| JADE | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0262 |
| CPSO | 0,0069 | 0,0141 | 0,0206 | 0,0117 | 0,0510 | 0,0307 | 0,0749 | 0,0206 |
| GA | 0,0069 | 0,0074 | 0,0196 | 0,0221 | 0,0520 | 0,0278 | 0,0759 | 0,0197 |
| GWO | 0,0069 | 0,0073 | 0,0196 | 0,0148 | 0,0527 | 0,0318 | 0,0753 | 0,0239 |
| MVO | 0,0070 | 0,0072 | 0,0197 | 0,0227 | 0,0524 | 0,0294 | 0,0757 | 0,0220 |
| IGWO | 0,0071 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0117 | 0,0531 | 0,0318 | 0,0818 | 0,0249 |
| ICA | 0,0069 | 0,0147 | 0,0197 | 0,0195 | 0,0517 | 0,0285 | 0,0756 | 0,0206 |
| TACPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0192 | 0,0302 | 0,0510 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0197 |
| DEPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0104 | 0,0509 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0382 |
| ACOR | 0,0069 | 0,0073 | 0,0200 | 0,0174 | 0,0540 | 0,0286 | 0,0814 | 0,0250 |
| QSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0119 | 0,0510 | 0,0748 | 0,0318 | 0,0382 |
| MPA | 0,0071 | 0,0072 | 0,0198 | 0,0135 | 0,0526 | 0,0308 | 0,0750 | 0,0353 |
| GSA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0198 | 0,0116 | 0,0509 | 0,0748 | 0,0318 | 0,0382 |
| ABC | 0,0069 | 0,0147 | 0,0197 | 0,0182 | 0,0513 | 0,0318 | 0,0752 | 0,0262 |
| DE | 0,0069 | 0,0145 | 0,0208 | 0,0276 | 0,0513 | 0,0284 | 0,0754 | 0,0197 |
| SCE-UA | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0103 | 0,0509 | 0,0307 | 0,0748 | 0,0388 |
| JAYA | 0,0069 | 0,0077 | 0,0198 | 0,0145 | 0,0521 | 0,0318 | 0,0752 | 0,0384 |
| HHO | 0,0071 | 0,0073 | 0,0196 | 0,0196 | 0,0531 | 0,0318 | 0,0787 | 0,0298 |
| SPSO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0401 | 0,0511 | 0,0279 | 0,0750 | 0,0197 |
| NM | 0,0069 | 0,0072 | 0,0200 | 0,0098 | 0,0555 | 0,0308 | 0,0809 | 0,0363 |
| HS | 0,0069 | 0,0153 | 0,0205 | 0,0272 | 0,0525 | 0,0284 | 0,0765 | 0,0205 |
| WOA | 0,0072 | 0,0076 | 0,0196 | 0,0192 | 0,0532 | 0,0318 | 0,0825 | 0,0304 |
| BeAm | 0,0069 | 0,0090 | 0,0218 | 0,0259 | 0,0526 | 0,0290 | 0,0750 | 0,0363 |
| COA | 0,0069 | 0,0075 | 0,0199 | 0,0262 | 0,0523 | 0,0318 | 0,0761 | 0,0385 |
| IWO | 0,0074 | 0,0080 | 0,0197 | 0,0269 | 0,0538 | 0,0318 | 0,0767 | 0,0388 |
| CA | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0237 |
| GA | 0,0074 | 0,0179 | 0,0206 | 0,0276 | 0,0519 | 0,0318 | 0,0750 | 0,0388 |
| HBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0196 | 0,0404 | 0,0514 | 0,0318 | 0,0753 | 0,0384 |
| BHBO | 0,0071 | 0,0182 | 0,0243 | 0,0412 | 0,0541 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0222 |
| GQPSO | 0,0076 | 0,0087 | 0,0220 | 0,0251 | 0,0560 | 0,0327 | 0,0841 | 0,0384 |
| AO | 0,0075 | 0,0204 | 0,0198 | 0,0259 | 0,0555 | 0,0312 | 0,0832 | 0,0315 |
| IPSO | 0,0069 | 0,0141 | 0,0192 | 0,0400 | 0,0510 | 0,0318 | 0,0749 | 0,0382 |
| DAO | 0,0073 | 0,0168 | 0,0241 | 0,0294 | 0,0536 | 0,0318 | 0,0785 | 0,0388 |
| BBO | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0382 |
| BeAs | 0,0070 | 0,0124 | 0,0224 | 0,0375 | 0,0542 | 0,0318 | 0,0773 | 0,0388 |
| NCCO | 0,0069 | 0,0146 | 0,0212 | 0,0410 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0756 | 0,0388 |
| CLONALG | 0,0071 | 0,0114 | 0,0233 | 0,0397 | 0,0551 | 0,0320 | 0,0785 | 0,0386 |
| TWO | 0,0072 | 0,0161 | 0,0234 | 0,0461 | 0,0533 | 0,0307 | 0,0769 | 0,0363 |
| SSA | 0,0073 | 0,0184 | 0,0243 | 0,0466 | 0,0538 | 0,0318 | 0,0762 | 0,0388 |
| GOA | 0,0074 | 0,0204 | 0,0214 | 0,0431 | 0,0560 | 0,0319 | 0,0837 | 0,0388 |
| BAT | 0,0074 | 0,0124 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0549 | 0,0319 | 0,0829 | 0,0388 |
| BFO | 0,0072 | 0,0203 | 0,0242 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0333 | 0,0776 | 0,0388 |
| SFO | 0,0074 | 0,0203 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0548 | 0,0318 | 0,0828 | 0,0388 |
| ALO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0519 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0838 | 0,0388 |
| MAO | 0,0103 | 0,0223 | 0,0316 | 0,0600 | 0,0555 | 0,0483 | 0,0875 | 0,0636 |
| EQOA | 0,0209 | 0,0468 | 0,0453 | 0,0242 | 0,1100 | 0,0597 | 0,1238 | 0,0531 |

Note: SSE minimum values are shown rounded to fourth decimal places.

Table 5

Algorithm ranking by SSE median sum for DWM model [performed by the authors]

| Algorithm | Studied cluster of data in the array of initial information | | | | | | | | |
|--|---|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Total |
| SSE median sum according to 15 algorithm runs, units | | | | | | | | | |
| CS | 0,0069 | 0,0072 | 0,0193 | 0,0119 | 0,0509 | 0,0278 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2186 |
| MRFO | 0,0069 | 0,0073 | 0,0206 | 0,0130 | 0,0510 | 0,0279 | 0,0749 | 0,0213 | 0,2229 |
| FA | 0,0069 | 0,0072 | 0,0194 | 0,0142 | 0,0521 | 0,0296 | 0,0750 | 0,0218 | 0,2261 |
| TLBO | 0,0069 | 0,0072 | 0,0191 | 0,0112 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0250 | 0,2278 |
| FPA | 0,0069 | 0,0140 | 0,0205 | 0,0165 | 0,0510 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0197 | 0,2319 |
| WEO | 0,0069 | 0,0092 | 0,0205 | 0,0199 | 0,0516 | 0,0294 | 0,0752 | 0,0224 | 0,2352 |
| DEPSO | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0130 | 0,0518 | 0,0318 | 0,0748 | 0,0382 | 0,2496 |
| VPS | 0,0069 | 0,0141 | 0,0206 | 0,0141 | 0,0519 | 0,0296 | 0,0809 | 0,0382 | 0,2565 |
| JAYA | 0,0069 | 0,0081 | 0,0200 | 0,0230 | 0,0534 | 0,0318 | 0,0765 | 0,0384 | 0,2582 |
| MPA | 0,0074 | 0,0074 | 0,0203 | 0,0152 | 0,0550 | 0,0318 | 0,0835 | 0,0388 | 0,2594 |
| IGWO | 0,0077 | 0,0080 | 0,0199 | 0,0145 | 0,0555 | 0,0320 | 0,0828 | 0,0391 | 0,2595 |
| DE | 0,0069 | 0,0146 | 0,0208 | 0,0407 | 0,0524 | 0,0291 | 0,0754 | 0,0218 | 0,2617 |
| EOF | 0,0069 | 0,0142 | 0,0207 | 0,0401 | 0,0520 | 0,0304 | 0,0784 | 0,0206 | 0,2634 |
| COA | 0,0070 | 0,0092 | 0,0203 | 0,0290 | 0,0534 | 0,0318 | 0,0785 | 0,0386 | 0,2678 |
| CGO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0243 | 0,0104 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0808 | 0,0388 | 0,2694 |
| HHO | 0,0075 | 0,0076 | 0,0207 | 0,0248 | 0,0555 | 0,0318 | 0,0838 | 0,0388 | 0,2704 |
| SC-SAHEL | 0,0069 | 0,0140 | 0,0191 | 0,0399 | 0,0518 | 0,0284 | 0,0748 | 0,0382 | 0,2731 |
| GWO | 0,0074 | 0,0204 | 0,0213 | 0,0192 | 0,0539 | 0,0318 | 0,0825 | 0,0388 | 0,2754 |

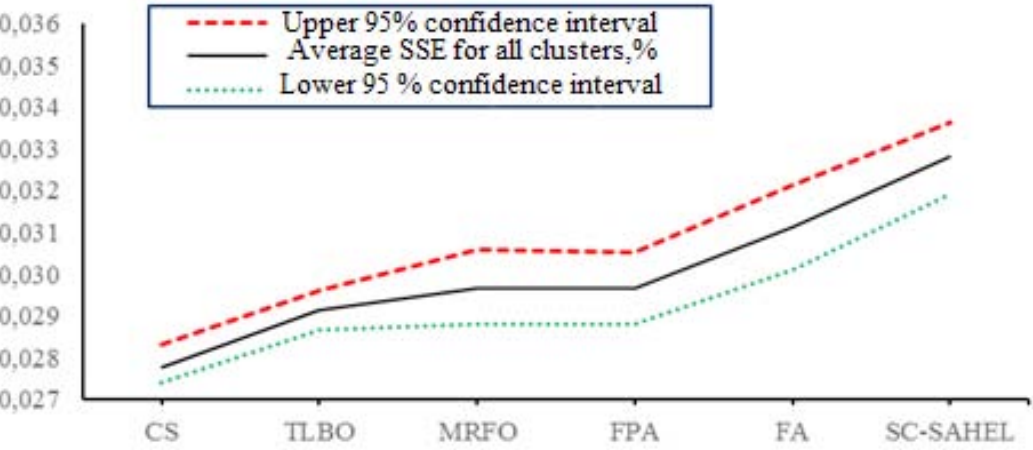
Note: SSE median values are rounded to fourth decimal places.

noticeable regarding the results of its work in clusters: 2, 4 and 8 (Table 2).

As a result, as part of the analysis using non-parametric statistics, it was decided to compare the results for the following six algorithms: SC-SAHEL, CS, MRFO, TLBO, FPA, and FA (which turned out to be in the top three in terms of the minimum sum of SSE

medians and entered the top ten in terms of minimum SSE).

The results of bootstrap estimation (the mechanism of which is described in detail in [71, pp. 11–77]) of the average SSE values for the studied algorithms based on the results of modelling 5000 stratified samples based on data on the results of 15 optimisation runs



Pic. 1. Bootstrap evaluation of DWM model optimisation results [performed by the authors].



| Algorithm => | MRFO | TLBO | MRFO | TLBO |
|---|--------|--------|----------------------------------|-------|
| pM-W for cluster 1 (at HKW=35,848; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 1 | |
| CS | 0,0000 | 0,0000 | -1,00 | -0,93 |
| MFRO | | 0,0002 | | +0,80 |
| pM-W for cluster 2 (at HKW=10,191; p=0,006) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 2 | |
| CS | 0,0081 | 0,6318 | -0,56 | -0,10 |
| MFRO | | 0,0045 | | +0,61 |
| pM-W for cluster 3 (at HKW=32,289; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 3 | |
| CS | 0,0003 | 0,0050 | -0,78 | +0,60 |
| MFRO | | 0,0001 | | +0,87 |
| pM-W for cluster 4 (at HKW=32,369; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 4 | |
| CS | 0,0322 | 0,0321 | -0,46 | +0,46 |
| MFRO | | 0,0051 | | +0,60 |
| pM-W for cluster 5 (at HKW=29,366; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 5 | |
| CS | 0,0000 | 0,0000 | -1,00 | -1,00 |
| MFRO | | 0,9174 | | -0,02 |
| pM-W for cluster 6 (at HKW=19,371; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 6 | |
| CS | 0,0106 | 0,0000 | -0,54 | -0,84 |
| MFRO | | 0,0174 | | -0,44 |
| pM-W for cluster 7 (at HKW=20,365; p<0,0001) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 7 | |
| CS | 0,0000 | 0,0014 | -0,89 | -0,68 |
| MFRO | | 0,0922 | | +0,36 |
| pM-W for cluster 8 (at HKW=10,289; p=0,006) | | | DTMD $\alpha\beta$ for cluster 8 | |
| CS | 0,2297 | 0,0004 | -0,25 | -0,75 |
| MFRO | | 0,1908 | | -0,28 |

Pic. 2. Results of non-parametric analysis of DWM optimisation results [performed by the authors]. HKW test statistics of Kruskal–Wallace; p – statistical significance of Kruskal–Wallace test; pM-W – statistical significance of Mann–Whitney test.

in each of the clusters (Pic. 1), characterising the overall assessment of efficiency (in addition to the previously obtained estimates based on the sum of minima and medians), indicate that at the initial stages of searching for unknown parameters of nonlinear models for the purposes of analysing price elasticity, it is preferable not to start optimisation using FA and SC-SAHEL. Also, the disadvantages of these algorithms include the need to set a large number of starting meta optimisation parameters (eight for FA and more than ten for SC-SAHEL), in contrast to two for TLBO, and three for CS, MRFO and FPA.

To draw the final conclusion, for the three best (according to the results of the bootstrap evaluation) algorithms, the statistical significance of the SSE differences (according to the results of 15 runs) was assessed based on the calculation of the non-parametric Kruskal–Wallace test [72, pp. 559–581]

followed by pairwise comparisons based on the Mann–Whitney method [72, pp. 540–550]. In addition, for the convenience of assessing the degree of superiority of one algorithm over another (in pairwise comparisons within the framework of analytical matrices), the authors developed (formulae 11) a specialised DTMD $\alpha\beta$ metric, the values of which are in the range from -1 (when all SSE values of the algorithm α are below than algorithm β) up to +1 (when all SSE values of algorithm β are less than those of algorithm α).

$$\begin{aligned}
 DTMD_{\alpha\beta} &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{bi}}{\sum_{z=n+1}^{2n} z - \sum_{z=1}^n z} = \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{bi}}{\frac{n(n+1+2n)}{2} - \frac{n(n+1)}{2}} = \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n v_{ai} - \sum_{i=1}^n h_{bi}}{n^2},
 \end{aligned} \tag{11}$$

Table 6
Ranking algorithms by minimum SSE for Richards model [performed by the authors]

| Algo- rithm | Studied cluster in the array of data of initial information | | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Total |
| Minimum SSE* based on the results of 15 runs of the algorithm, units | | | | | | | | | |
| CS | 0,0073 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0278 | 0,2209 |
| MRFO | 0,0073 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0282 | 0,0683 | 0,0278 | 0,2210 |
| TLBO | 0,0075 | 0,0082 | 0,0155 | 0,0202 | 0,0454 | 0,0287 | 0,0683 | 0,0313 | 0,2252 |

Note: SSE minimum values are rounded to fourth decimal places.

where $\sum_{i=1}^n v_{ai}$, $\sum_{i=1}^n h_{bi}$ – the sums of ranking places obtained by the Mann–Whitney method by pairwise comparison of the SSE values in the samples of algorithm α (reflected in the analytical matrix along the vertical) and algorithm β (reflected in the analytical matrix along the horizontal);

$\sum_{z=n+1}^n z - \sum_{z=1}^n z$ – the maximum difference

between the sums of ranking places when combining two samples of the same size n , observed in the case when all SSE values in one of the samples are lower than any SSE value in the other sample.

The results of non-parametric analysis (Pic. 2) indicate that in all clusters for the compared algorithms, the differences in the average SSE scores are not random since the statistical significance of Kruskal–Wallace test is below the threshold level of 0,05. The analysis of the scores of Mann–Whitney tests using a threshold level of 0,05/3, according to the Bonferroni correction (see [72, pp. 565–566]), together with the results of calculating DTMD $\alpha\beta$, allows us to conclude that the CS algorithm is the most preferable, as it demonstrates statistically significantly better results in clusters 1, 5, 6, 7,

and is not inferior to other algorithms in clusters 2 and 8.

The results of estimating the SSE minimum for the Richards model (Table 6) also confirm the effectiveness of the CS algorithm, although, in this case, its advantage over MRFO turns out to be insignificant.

Based on a comparison of the SSE minima (Table 4 and Table 6) obtained using heuristic optimisation algorithms, we can conclude that the DWN functional form looks somewhat more preferable than the Richards model. Also, although the total minimum SSE for DWM model when optimised by CS algorithm is slightly higher than that of the Pearl–Read model when optimised by LM algorithm, comparing the results separately in each of the clusters (Table 1 and Table 4) shows that DWM gives more efficient scores in five out of eight clusters, which makes this model more universal. At the same time, the use of the considered heuristic optimisation algorithms for Pearl–Read model turns out to be less effective than the initial use of LM algorithm (Table 7).

Thus, the functional form of DWM with parameter optimisation with the CS algorithm can be recommended as a competitive

Table 7
Efficiency of heuristic optimisation for the Pearl–Read model compared to using LM algorithm [performed by the authors]

| Algorithms | Studied cluster of data in the array of initial information | | | | | | | |
|------------|---|-------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Ratio of SSE minima (based on the results of 15 runs), % | | | | | | | |
| CS/LM | 100,3 | 100,0 | 132,3 | 126,3 | 100,0 | 100,0 | 102,3 | 100,3 |
| MRFO/LM | 100,0 | 100,8 | 147,3 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 113,1 | 101,4 |
| TLBO/LM | 103,5 | 100,1 | 147,1 | 127,3 | 100,1 | 100,0 | 113,1 | 106,8 |



alternative in the analysis of price elasticity of demand, in case when the use of the Pearl–Read model has not provided the efficiency parameters specified by management.

CONCLUSIONS

As part of development of mechanisms for managing the prices of transport services, the prospects for improving the apparatus for modelling customer behaviour are considered based on the use of various forms of nonlinear functions for analysing the price elasticity of demand, as well as the transition to the use of global optimisation heuristic tools.

Based on the use of the array of data on passenger demand, the prospects for using 15 functions, which are nonlinear in parameters, for modelling the price elasticity of demand are considered, in addition, to identify the most promising tools for assessing their parameters, the effectiveness of more than 60 optimisation algorithms is compared.

Despite the use in the analysis of data on the price elasticity of demand for passengers of branded trains, it seems that the conclusions drawn about the promising directions for development of mechanisms for managing the prices of transport services can be successfully used in relation to other modes of transport.

An important direction for further research is development of mechanisms for integrating the proposed approaches with specialised methods of competitive analysis and tools for assessing the optimal composition of trains for their subsequent joint use within the framework of a dynamic pricing system to improve the efficiency of the transport industry.

REFERENCES

1. Pastukhov, S. S. Identification of the main ways to improve the efficiency of dining cars based on marketing analysis [*Opredelenie osnovnykh putei povysheniya effektivnosti raboty vagonov-restoranov na osnove marketingovogo analiza*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2008, Iss. 2, pp. 42–47. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12964535>. Last accessed 29.04.2021.
2. Pastukhov, S. S. Development of methods for studying the quality of transport services for the population in the field of long-distance railway passenger transportation. Ph.D. (Economics) thesis [*Razrabotka metodov issledovaniya kachestva transportnogo obsluzhivaniya nasleniya v sfere zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozok dalnego sledovaniya*. *Dis... kand. ekon. nauk*]. Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) MT RF, 2011, 204 p.
3. Miroshnichenko, O. F., Pastukhov, S. S. Formation of optimal tariffs for suburban season tickets based on mathematical modelling methods [*Formirovanie optimalnykh tarifov na abonementnye bilety v prigorodnom soobshchenii na osnove metodov matematicheskogo modelirovaniya*]. Collection of scientific works of JSC VNIIZhT. Ed. by O. F. Miroshnichenko. Moscow, Intext publ., 2009, pp. 51–62. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20617233>. Last accessed 29.04.2021.
4. Komarov, L. K. Dynamic pricing and management of profitability of passenger transportation [*Dinamicheskoe tsenoobrazovanie i upravlenie dokhodnostyu passazhirskikh perevozok*]. *Zheleznodorozhny transport*, 2010, Iss. 1, pp. 27–30. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17759770&>. Last accessed 29.04.2021.
5. Miroshnichenko, O. F., Venediktov, G. L., Kochetkov, V. M., Pastukhov, S. S. Methods for implementing a yield management system in relation to passenger railway transportation [*Metody realizatsii sistemy upravleniya dokhodnostyu primenitelno k passazhirskomu zheleznodorozhnomu soobshcheniyu*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2010, Iss. 6, pp. 10–15. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15506258>. Last accessed 29.04.2021.
6. Miroshnichenko, O. F., Venediktov, G. L., Kochetkov, V. M., Pastukhov, S. S. Implementation of economic and mathematical models in automated control systems for profitability of passenger transportation [*Realizatsiya ekonomiko-matematicheskikh modelei v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya rentabelnostyu passazhirskikh perevozok*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss. 4, pp. 33–39. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16555647>. Last accessed 29.04.2021.
7. Pastukhov, S. S. Determination of optimal prices for new services in long-distance trains based on mathematical modelling methods [*Opredelenie optimalnykh tsen na novye uslugi v poezdakh dalnego sledovaniya na osnove metodov matematicheskogo modelirovaniya*]. In: Problems of Railway Transport: Collection of scientific works of JSC VNIIZhT. Ed. by G. V. Gogrichiani. Moscow, Intext publ., 2011, pp. 10–20. ISBN 978-5-89277-102-3.
8. Pastukhov, S. S. Improving the mechanism for searching for optimal prices for new services in long-distance trains based on the use of nonlinear parameters models for analysing price elasticity of demand [*Sovershenstvovanie mekhanizma poiska optimalnykh tsen na novye uslugi v poezdakh dalnego sledovaniya na osnove primeneniya nelineinykh po parametram modelei analiza tsenovoi elastichnosti sprosa*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2015, Iss. 4, pp. 50–59. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23815283>. Last accessed 29.04.2021.
9. Pastukhov, S. S., Stelmashenko, K. V. Improving the mechanisms of comparative marketing analysis of tariffs on the market of long-distance passenger transportation in the conditions of development of systems of dynamic yield management [*Sovershenstvovanie mekhanizmov sravnitel'nogo marketingovogo analiza tarifov na rynke passazhirskikh perevozok dalnego sledovaniya v usloviyakh razvitiya sistem dinamicheskogo upravleniya dokhodnostyu*]. *Issues of development of railway transport: collection of works of scientists of JSC VNIIZhT*. Ed. by M. M. Zhelezov, G. V. Gogrichiani. Moscow, RAS publ., 2017, pp. 53–62. ISBN 978-5-9909147-3-5.
10. Venediktov, G. L., Kochetkov, V. M. Complex optimisation of passenger train operation based on an automated control system for profitability of passenger transportation [*Kompleksnaya optimizatsiya ekspluatatsii passazhirskikh poezdov na baze avtomatizirovannoi sistemy upravleniya rentabelnostyu passazhirskikh perevozok*]. *Bulletin of scientific research institute of railway transport*, 2020, Vol. 79, Iss. 6, pp. 343–350. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-343-350>.
11. Winston, Wayne, L. Marketing Analytics Data-Driven Techniques with Excel. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2014, 722 p. ISBN 978-1-118-37343-9.

12. Haugom, E. Essentials of Pricing Analytics: Tools and Implementation with Excel. Routledge, 2020, 291 p. ISBN 978-0-367-36322-2.
13. Koç, H. Ratio-type estimators for improving mean estimation using Poisson regression method. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 2021, Vol. 50, Iss. 20, pp. 4685–4691, DOI: 10.1080/03610926.2020.1777307.
14. Ratkowsky, D., Olley, J., McMeekin, T., Ball, A. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of Bacteriology*, 1982, Vol. 149 (1), pp. 1–5. DOI: 10.1128/jb.149.1.1-5.1982.
15. Richards, F. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 1959, Vol. 10, No. 29, pp. 290–300. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>.
16. Van Boekel, M. On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, Vol. 74, Iss. 1–2, pp. 139–159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00742-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00742-5).
17. Corradini, M., Normand, M., Eisenberg, M., Peleg, M. Evaluation of a Stochastic Inactivation Model for Heat-Activated Spores of *Bacillus* spp. *Applied & Environmental Microbiology*, 2010, Vol. 76, No. 13, pp. 4402–4412. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.02976-09>.
18. Moré, J. J. The Levenberg-Marquardt Algorithm: Implementation and Theory. In: Watson, G.A. (eds) Numerical Analysis. Lecture Notes in Mathematics, 1978, Vol. 630. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 105–116. <https://doi.org/10.1007/BFb0067700>.
19. Nocedal, J., Wright, S. Numerical Optimization. Second Edition. Springer Verlag, New York, 2006, XXII, 664 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-40065-5>.
20. Matsumoto, M., Nishimura, T. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulations*, 1998, Vol. 8, Iss. 1, p. 3–30. DOI: <https://doi.org/10.1145/272991.272995>.
21. Kaveh, A., Bakhshpoori, T. Metaheuristics: Outlines, MATLAB Codes and Examples. Springer, 2019, XII, 190 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04067-3>.
22. Socha, K., Dorigo, M. Ant colony optimization for continuous domains. *European Journal of Operational Research*, 2008, Vol. 185, Iss. 3, pp. 1155–1173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.046>.
23. Zhao, W., Wang, L., Zhang, Z. Artificial ecosystem-based optimization: a novel nature-inspired meta-heuristic algorithm. *Neural Computing and Applications*, 2020, Vol. 32, Iss. 13, pp. 9383–9425. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04452-x>.
24. Mirjalili, S., Lewis, A., Sadiq, A. S. Autonomous Particles Groups for Particle Swarm Optimization. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2014, Vol. 39, Iss. 6, pp. 4683–4697. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1156-x>.
25. Mirjalili, S. The Ant Lion Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 2015, Vol. 83, pp. 80–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.01.010>.
26. Abualigah, L., Yousri, D., Elaziz, M. Abd, Ewees, A., Al-qaness, M. A. A., Gandomi, A. H. Aquila Optimizer: A novel meta-heuristic optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, Vol. 157, pp. 1–59. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2021.107250>.
27. Yang, Xin-She. Optimization Techniques and Applications with Examples. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2018, 384 p. ISBN 978-1-119-49062-3.
28. Simon, D. Biogeography-Based Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2008, Vol. 12, No. 6, pp. 702–713. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2008.919004>.
29. Pham, Q. T., Pham, D. T., Castellani, M. A. modified bees algorithm and a statistics-based method for tuning its parameters. *Journal of Systems and Control Engineering*, 2012, Vol. 226, Iss. 3, pp. 287–301. DOI: <https://doi.org/10.1177/0959651811422759>.
30. Pham, D. T., Castellani, M. The bees' algorithm – modelling foraging behaviour to solve continuous optimization problems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2009, Vol. 223, Iss. 12, pp. 2919–2938. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544062JMES1494>.
31. Passino, K. M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE control systems magazine*, 2002, Vol. 22, Iss. 3, pp. 52–67. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCS.2002.1004010>.
32. Boucekara, H. R. E. H. Optimal power flow using black-hole-based optimization approach. *Applied Soft Computing*, 2014, Vol. 24, pp. 879–888. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.056>.
33. Brownlee, J. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Lulu, 2011, 436 p. ISBN 978-1-4467-8506-5.
34. Talatahari, S., Azizi, M. Chaos Game Optimization: a novel metaheuristic algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 2021, Vol. 54, pp. 917–1004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09867-w>.
35. Castro de, L. N., Zuben Von, F. J. Learning and optimization using the clonal selection principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, Vol. 6, No. 3, pp. 239–251. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2002.1011539>.
36. Pierzan, J., Coelho, L. Dos Santos. Coyote Optimization Algorithm: A New Metaheuristic for Global Optimization Problems. 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2018, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/CEC.2018.8477769>.
37. Clerc, M., Kennedy, J. The particle swarm – explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. In: *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2002, Vol. 6, No. 1, pp. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.985692>.
38. Mirjalili, S. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete and multi-objective problems. *Neural Computing and Applications*, 2016, Vol. 27, Iss. 4, pp. 1053–1073. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1920-1>.
39. Storn, R., Price, K. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 1997, Vol. 11, Iss. 4, pp. 341–359. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008202821328>.
40. Liu, H., Cai, Z., Wang, Y. Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization. *Applied Soft Computing*, 2010, Vol. 10, Iss. 2, pp. 629–640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.08.031>.
41. Ponce, P., Gutiérrez, A. M., Ramírez-Mendoza, R. A., Méndez, E., Ortiz, A., Balderas, D. A Practical Approach to Metaheuristics using LabVIEW and MATLAB. Chapman & Hall/CRC, 2020, 186 p. ISBN 9780367337049.
42. Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Stephens, B. Mirjalili, S. Equilibrium optimizer: A novel optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 2020, Vol. 191, 105190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2019.105190>.
43. Yang, Xin-She. Firefly Algorithm, Lévy Flights and Global Optimization. In: Bramer, M., Ellis, R., Petridis, M. (eds). Research and Development in Intelligent Systems XXVI. Springer, London, UK, 2010, pp. 209–218. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-983-1_15.
44. Chen, Z.-Q., Wang, R.-L. An efficient real-coded genetic algorithm for real-parameter optimization. In: 2010 Sixth International Conference on Natural Computation, 2010, pp. 2276–2280. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584209>.
45. Yiying, Zhang; Zhigang, Jin; Mirjalili, S. Generalized normal distribution optimization and its applications in parameter extraction of photovoltaic models. *Energy*



Conversion and Management, 2020, Vol. 224, 113301. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113301>.

46. Saremi, S., Mirjalili, S., Lewis, A. Grasshopper Optimization Algorithm: Theory and Application. *Advances in Engineering Software*, 2017, Vol. 105, pp. 30–47. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.01.004>.

47. Coelho, L. Dos Santos. Gaussian quantum-behaved particle swarm optimization approaches for constrained engineering design problems. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, 2010, Iss. 2, pp. 1676–1683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.044>.

48. Xiang, Y., Sun, D. Y., Fan, W., Gong, X. G. Generalized simulated annealing algorithm and its application to the Thomson model. *Physics Letters A*, 1997, Vol. 233, Iss. 3, pp. 216–220. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0375-9601\(97\)00474-X](https://doi.org/10.1016/S0375-9601(97)00474-X).

49. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 2014, Vol. 69, pp. 46–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.

50. Askari, Q., Saeed, M., Younas, I. Heap-based optimizer inspired by corporate rank hierarchy for global optimization. *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 161, 113702. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113702>.

51. Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., Chen, H. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*, 2019, Vol. 97, pp. 849–872. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>.

52. Nadimi-Shahraki, M. H., Taghian, S., Mirjalili, S. An improved grey wolf optimizer for solving engineering problems. *Expert Systems with Applications*, 2021, Vol. 166, pp. 1–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113917>.

53. Zhang, J., Sanderson, A. C. JADE: Adaptive Differential Evolution With Optional External Archive. In: *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 2009, Vol. 13, No. 5, pp. 945–958. DOI: <http://doi.org/10.1109/TEVC.2009.2014613>.

54. Parsopoulos, K. E., Vrahatis, M. N. Particle Swarm Optimization and Intelligence. Advances and Applications. IGI Global, 2010, 328 p. DOI: 10.4018/978-1-61520-666-7.

55. Mehrabian, A. R., Lucas, C. A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. *Ecological Informatics*, 2006, Vol. 1, Iss. 4, pp. 355–366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2006.07.003>.

56. Venkato Rao, R. Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2016, Vol. 7, No. 1, pp. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.5267/J.IJIEC.2015.8.004>.

57. Villuendas-Rey, Y., Velázquez-Rodríguez, J. L., Alanis-Tamez, M. D., Moreno-Ibarra, M.-A., Yáñez-Márquez, C. Mexican Axolotl Optimization: A Novel Bioinspired Heuristic. *Mathematics*, 2021, Vol. 9, No. 7, 781. DOI: <https://doi.org/10.3390/math9070781>.

58. Faramarzi, A., Heidarinejad, M., Mirjalili, S., Gandomi, A. H. Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic. *Expert Systems with Applications*, 2020, Vol. 152, 113377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113377>.

59. Zhao, W., Zhang, Z., Wang, L. Manta ray foraging optimization: An effective bio-inspired optimizer for engineering applications. *Engineering Applications of Artificial*

Intelligence, 2020, Vol. 87, 103300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103300>.

60. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Hatamlou, A. Multi-Verse Optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications*, 2016, Vol. 27, Iss. 2, pp. 495–513. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1870-7>.

61. Gálvez, J., Cuevas, E., Hinojosa, S., Avalos, O., Pérez-Cisneros, M. A reactive model based on neighborhood consensus for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 2019, Vol. 121, pp. 115–141. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.018>.

62. Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., Wright, P. E. Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions. *SIAM Journal of Optimization*, 1998, Vol. 9, Iss. 1, pp. 112–147. DOI: <http://doi.org/10.1137/S1052623496303470>.

63. Zhang, J., Xiao, M., Gao, L., Pan, Q. Queuing search algorithm: A novel metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems. *Applied Mathematical Modelling*, 2018, Vol. 63, pp. 464–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.06.036>.

64. Rahnmay Naeini, M., Yang, T., Sadegh, M., AghaKouchak, A., Hsu, K., Sorooshian, S., Duan, Q., Lei, X. Shuffled Complex-Self Adaptive Hybrid Evolution (SC-SAHEL) optimization framework. *Environmental Modelling and Software*, 2018, Vol. 104, pp. 215–235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.019>.

65. Duan, Q. Y., Gupta, V. K., Sorooshian, S. Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1993, Vol. 76, pp. 501–521. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00939380>.

66. Gomes, G. F., da Cunha, S. S., Ancelotti, A. C. A sunflower optimization (SFO) algorithm applied to damage identification on laminated composite plates. *Engineering with Computers*, 2019, Vol. 35, pp. 619–626. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00366-018-0620-8>.

67. Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., Mirjalili, S. M. Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, 2017, Vol. 114, pp. 163–191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002>.

68. Han, J., Yang, C., Zhou, X., Gui, W. A Two-stage State Transition Algorithm for Constrained Engineering Optimization Problems. *International Journal of Control Automation and Systems*, 2018, Vol. 16, Iss. 2, pp. 522–534. DOI: <http://doi.org/10.1007%2Fs12555-016-0338-6>.

69. Bao, G. Q., Mao, K. F. Particle swarm optimization algorithm with asymmetric time varying acceleration coefficients. In: 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2009, pp. 2134–2139. DOI: <http://doi.org/10.1109/ROBIO.2009.5420504>.

70. Mirjalili, S., Lewis, A. The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 2016, Vol. 95, pp. 51–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>.

71. Davison, A. C., Hinkley, D. V. Bootstrap Methods and their Application. Cambridge University Press, 2006, 582 p. ISBN 0-521-57391-2.

72. Field, A. p. Discovering Statistics Using SPSS. 3rd edition. London, SAGE Publications Ltd., 2009, 856 p. ISBN 978-1-84787-906-6. ●

Information about the authors:

Pastukhov, Sergey S., Ph.D. (Economics), Leading Researcher of Scientific centre «Economics of complex projects and tariff formation» of Railway Research Institute, Moscow, Russia, pastuhovsergey@bkl.ru.

Stelmashenko, Konstantin V., Senior Researcher of Scientific centre «Economics of complex projects and tariff formation» of Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia, StelmashenkoKonstantin@vniizht.ru.

Article received 15.07.2021, approved 17.11.2021, accepted 24.11.2021.



LOGISTICS OUTSOURCING

188

Overview analysis of logistics outsourcing in the Republic of Azerbaijan followed by extended suggestions on the methodology of internal and external assessment by enterprises, potentially interested in outsourced logistics, allowing to confirm reasonableness of own needs and reliability of counterparties.



FREIGHT TRANSPORTATION

194

Situational analysis applied to the cargo transportation market during the pandemics and the period of overcoming its consequences. Approaches to forecasting of the influence of post-pandemic situation on the development of core trends in Russian transport industry and individual modes of transport.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL



TRANSPORT SERVICES: COST MANAGEMENT

199

The task of developing tools and mechanisms for the purposes of service cost management is always relevant. Substantiation of application of parametrically nonlinear functions modelling customers' behaviour, as well as of algorithms of modern tools of comprehensive mathematical optimisation.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-8>World of Transport and Transportation, 2021,
Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 188–193

Features of Methods for Assessing the Long-Term Traffic Intensity in the Design of Toll Roads

**Konstantin S. Mikryukov***Russian Highways State Company, Moscow, Russia.*✉ mkonstya@yandex.ru**Konstantin S. MIKRYUKOV**

ABSTRACT

Long-term traffic intensity is among core characteristics that determine main parameters while developing projects for construction of new highways. The long-term traffic intensity influences estimated speed, pavement design, total number of traffic lanes, width of traffic lanes and roadsides, longitudinal slope, radii of horizontal curve, transverse slope, radii of convex and concave curves regarding the longitudinal profile, width of median strip, layout of intersection or junction with other roads.

Existing methods for predicting traffic intensity for toll roads are also deterministic and cannot estimate the range of values for the listed indicators. In this regard, the objective of the study is to identify the features, advantages, and disadvantages of existing methods for assessing the long-term traffic intensity for toll roads.

The study considered both traditional, classical methods (extrapolation, historical analysis, approximation) and promising innovative approaches based on the theory of fuzzy logic and neural network modelling.

Keywords: *transport, road design, traffic intensity, toll road, toll highway, traffic stream modelling, transit capacity.*

For citation: Mikryukov, K. S. Features of Methods for Assessing the Long-Term Traffic Intensity in the Design of Toll Roads. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 188–193. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-8>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Traditionally, construction and maintenance of roads is at the expense of the state (central and/or local authorities). Funds for financing roads are mainly formed due to the receipt of tax (excise, local taxes), customs and other (road fees) payments [1]. In the second half of 20th century, the topicality of the issues of the harmful effects of vehicles and massive traffic jams raised in many countries of the world.

Traffic congestion is a global problem that almost every person living in a big city happens to face. This results in wasted time. In addition, rapid development of transport, especially the current unlimited use of private cars, results in serious air pollution and the energy crisis. These problems seriously limit further development of infrastructure and cities around the world. In this regard, today there is an urgent need for development of appropriate highly adaptable public policies and consistent implementation of effective measures that will allow to eliminate above mentioned problems caused by unsustainable traffic systems and will subsequently result in environmentally friendly development of low-carbon and energy-efficient transport systems.

At the first stage of meeting those problems, some countries have started to build toll roads. Toll is one of the effective methods that allows managing traffic demand. It is also widely used as a useful tool to reduce road congestion and pollution [2]. Recent advances in information and communication technology have made it easier to implement a road pricing. There are several well-known examples of successful electronic road pricing around the world, including tolling schemes in California, Singapore, and London, which are based on the calculation of the average attended daily traffic intensity.

A period of 20 years is usually taken as a long-term period. That is, for 20 years, the road should function effectively within the parameters that are determined by the category [type] of the road and that have been set at the stage of its construction [3]. Consequently, the cost of its construction and the efficiency of its operation in the future will depend on reliability of identifying the annual average long-term daily traffic intensity at the design stage of the road.

At the same time, it should be noted that the existing methods for determining the long-term

traffic intensity for the purposes of construction of new toll roads differ significantly depending on the specification of the methods that form their basis, consideration of some or other parameters of a highway, measuring instruments used, and the purposes of setting the toll.

Therefore, considering the foregoing, the study of the features, possibilities, constraints and areas of application of methods for assessing the long-term traffic intensity during construction of toll roads is an urgent scientific and technical problem, and the article is devoted to its solution.

The analysis of recent studies and publications indicates that the issues of toll roads have repeatedly become the subject of research by domestic and foreign authors.

The most comprehensive study of this issue was made in the works of V. I. Bryzgalov, M. O. Karpushko [4], I. Gusti Ayu Andani, L. La Paix Puello, Karst T. Geurs [5].

A. V. Vishnevsky, S. S. Igoshin, M. O. Karpushko, I. L. Bartolomey dealt with the issues of optimal design of toll roads from the point of view of sustainable development of territories [6].

The works of V. S. Anderyuk, O. A. Ageeva [1; 7], Yudi Harto Suseno, Muhammad Agung Wibowo, Bagus Hario Setiadji [8] are devoted to forecasting the parameters of traffic streams using analytical methods.

However, despite a wide range of scientific research on the topic, the issues of traffic intensity on the future highway, the algorithm for its calculation and the core impact factors, as well as the adjustment mechanism, considering changes in the socio-economic development of a territory, remain unresolved.

Thus, the *objective* of the study is to improve the accuracy of substantiation of technical parameters and expand approaches to assessing the long-term traffic intensity of toll highways by identifying shortcomings and advantages in existing methods for substantiating the long-term traffic intensity, which do not consider now many factors.

METHODS FOR ASSESSING THE FUTURE TRAFFIC INTENSITY

The intensity is one of the main indicators that characterises the conditions of the stream movement and is determined by the number of vehicles that have crossed the street or road per unit time [8]. One of the features of this indicator is that it changes over time, and this change is



stochastic in nature; the obtained intensity values can differ significantly during certain hours of the day, days of the week, months of the year, etc.

If the existing traffic trends continue, the increase in traffic intensity on toll roads will sooner or later reach the road capacity level, which, in turn, will negatively affect traffic conditions, cause lower comfort, congestion, increased danger on the roads, and so on. All these factors harm human health and cause unforeseen costs for the road sector, increasing the energy intensity of roads [9].

Today, assessment of the long-term traffic intensity on toll highways widely applies practical calculation methods, which are divided into several large groups.

The *first group* of methods involves calculations based on the forecasts for socio-economic development of a region where it is planned to build a new toll road. A wide range of various data is considered based on which it is possible to determine the degree of influence of certain factors on traffic intensity and find out whether there is a relationship, and if so, which is its form (direct, inverse, linear or non-linear form) and which equation can describe it, and to what extent the intensity of traffic is subject to fluctuations (changes). These factors include the condition, arrangement and improvement of roads, population residing in the studied area, the structure of the traffic stream, geographic and climatic conditions, the presence of poles of attraction, density of the road network, etc. These methods are based on extrapolation. The accuracy of predicting development of traffic intensity depends on the correctly chosen hypothesis for further changes in the process which is the growth rate.

Graphs built based on traffic accounting data during the observation period often have points with a certain scatter, which allows, when processing data, to apply various extrapolation patterns with almost the same error. As a result, predictive intensity values are calculated [8].

The following hypotheses are the most widespread.

1. The growth of traffic intensity corresponds to a linear relationship:

$$N_t = N_0 (1 + q)t, \quad (1)$$

where N_t – future (calculated) intensity in t years, cars/day;

N_0 – intensity (actual) in the year of design, cars/day;

q – dynamics of increase/decrease in intensity in shares of the intensity for the previous year.

2. Increasing traffic growth rates:

$$N_t = N_0 (1 + q)^t. \quad (2)$$

3. The long-term traffic intensity is expressed by a logistic curve with an initial rapid growth, which eventually turns into a slight increase:

$$N_t = N_0 \left[1 + 0,01 \left(k_1 t + k_2 \sum_{i=1}^n t_i^3 \right) \right], \quad (3)$$

where k_1 and k_2 are coefficients obtained experimentally depending on the initial increase in intensity and determined by the expression [11]:

$$k_1 = 6,7 - 0,3q_n, \quad (4)$$

$$k_2 = 1,3q_n - 6,7. \quad (5)$$

4. The long-term traffic intensity can be determined by a polynomial of the following form:

$$N_t = N_0 + a_t + b_{t^2} + c_{t^3} + \dots + m_{t^n}, \quad (6)$$

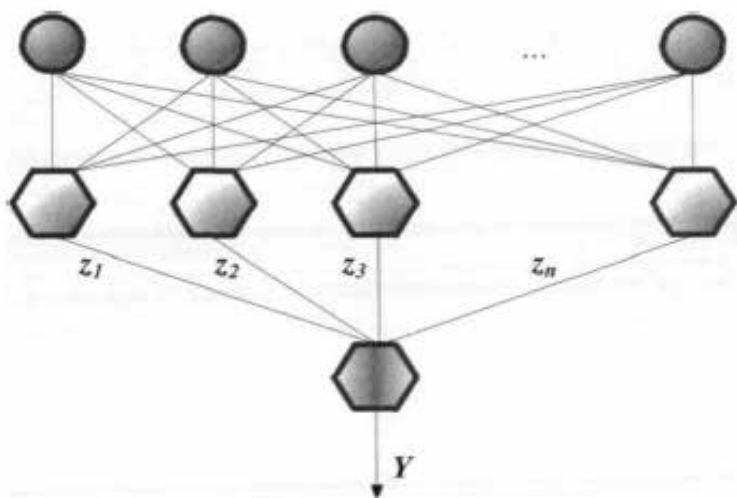
where a, b, c, \dots, m are coefficients obtained experimentally.

In this polynomial, the number of terms in the series depends on the type of curve and traffic intensity data.

The *second group* is based on historical traffic volumes on similar roads, based on which a forecast is made about changes in intensity during the forecasted period. This method allows getting a very average, approximate estimate, which is characterised by a significant level of inaccuracy, so it is advisable to use these methods only at the initial stage of designing the construction of toll roads with further mandatory clarification of the data obtained.

The *third group* consists of methods based on multivariate analysis, but they should be used only for those areas where a wide database on traffic intensity and factors influencing it has been collected.

The use of approximating functions has become quite widespread in foreign practices of estimating traffic intensity. To implement this method, an initial series of static data is required, which is aligned by a graphical-analytical or mathematical selection of an analytical function that makes it possible to approximate the theoretical and statistical data to the maximum extent possible [12]. This group of methods has certain similarities with the calculation of intensity based on historical data, but its undoubted advantage is the ability to use digital data processing, as well as the absence of a «rigidly» a priori



Pic. 1. Rosenblatt's perceptron for predicting the intensity of traffic on a toll highway [performed by the author].

connection of the desired solution with a specific model, which allows the methods to show better results under conditions of uncertainty.

So, measurements are carried out on a similar highway for a limited sample of days, the average value (M) and standard deviation (S) of the daily load during busy hours are calculated. Estimates of the normal and high level of load (L) are carried out according to the formula:

$$L = M + k \cdot S, \quad (7)$$

different k -coefficient values are used for normal and high load levels.

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M)^2 \right]^{1/2}, \quad (8)$$

where X_i – time-consistent traffic during busy hours, measured on the i -th day;

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \text{mean sample value};$$

n – number of days when measurements were taken.

If the measurement period is less than 30 days, the estimate will not be very reliable. In this case, it is advisable to conduct special measurement studies to determine the typical values of the standard deviation (for example, as a function of the sample mean).

Some authors believe that to assess the long-term traffic intensity for toll road construction projects, it is not sufficient to apply only methods based on direct extrapolations, but it is advisable to additionally use the method of expert assessments and the method of neural network modelling [13; 14].

Neural network modelling of the traffic stream intensity depending on the environmental load and the parameters of the designed motor transport infrastructure deserves special attention. In this regard, it becomes necessary to identify key groups in the model with semantic context-dependent relationships, which allows us to divide the model analysis into groups:

- Group No. 1. Analysis of spatial-temporal intensity, this group contains only information about traffic intensity.

- Group No. 2. Spatial intensity analysis, this group has information about traffic density, road service facilities and the road network in the surrounding area.

- Group No. 3. Spatial analysis of environmental impact, this group contains data on possible traffic accidents, technical means of traffic control, traffic stream and information about the road network in the surrounding area.

The solution of the forecasting problem, in each selected group, includes implementation of certain steps, such as initial data processing, selection of a measurement scale, creation of a model for analysis, verification of suitability of the model for the constructed model for predicting traffic intensity on the projected highway. Initial processing includes data normalisation, encoding of non-numeric information, and delinking. The main goal of the initial processing is to maximise the entropy of distribution of data parameters [15]. The highest entropy value allows using the information in the input data set at the limit level, which ultimately has a positive effect on accuracy of neural network models.





Pic. 1 shows a neural network that can be used to assess the future traffic intensity in the process of designing the construction of toll roads.

The objective of the spatiotemporal neural network model is to predict the volume of traffic on a road section based on information about the actual traffic at similar points at a given time. The model will perform the calculation based on the difference of template operations that connect the actual intensity value with the intensity value at a given point in time.

Considering the above, for the synthesis of the forecast, the traffic intensity is formally represented as follows:

$$I = \langle \Omega, G, X, Y, U, T, \rho, \gamma, \zeta \rangle,$$

where $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{n \times m}\}$ – the range of operating conditions of the highway;

$G = \langle V, (D, W) \rangle$ – a model of intersections, junctions, represented by a graph G in the space R ;

$V = \{v_i\}$ – graphic vertices (nodes) corresponding to the nodes of future traffic;

$D \subseteq V \times V$ – a set of diagrams for a road section and road network with weighting coefficients $W = \langle \wedge, P, Z \rangle$ (intensity, speed and structure of traffic on a given road section);

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – a set of properties and determinants that describe the state of the road and take on their own values;

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ – range of initial values (number and types of vehicles, turns, intersections, pedestrian crossings, etc.);

$U = \{U_1, U_2, \dots, U_l\}$ – the range of possible driving modes on the road;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_p, \dots\}$ – discrete or continuous time;

$\rho: X \times U \times T \rightarrow \Omega$ – description of changes in the state of the object in a given state (dynamics of traffic intensity when external parameters change);

$\rho: \Omega \times T \rightarrow Y$ – a conclusion with a description of observations of the dynamics of traffic intensity (estimates, conclusions, etc.);

ζ – external uncontrollable factors influencing intensity changes.

Several technical approaches deserve special attention in the process of analysing methods for assessing the future traffic intensity for projects for construction of toll roads, among which the following can be distinguished:

1. Methods of reducing the coefficients of the theoretical transit capacity, allowing to determine the maximum volume of streams on the road or its individual elements without considering the transit capacity of intersections and junctions. The disadvantage of this method is the inability to determine the intensity of traffic on the road section between intersections and junctions. The discrepancy between the calculated and actual results of calculating the maximum traffic intensity on the road section using these methods is from 200 to 600 vehicles per hour.

2. Methods for determining the maximum traffic intensity based on the functional dependencies within «intensity-speed» traffic stream models. The disadvantage of this method is the lack of consideration of the influence of intersections and junctions on traffic intensity. These methods determine only the highest value

of traffic intensity at an average speed of traffic and with partial consideration of the structure of the traffic stream. The discrepancy between the results obtained is from 200 to 400 vehicles per hour.

3. Methods based on the use of «intensity–speed» functional dependences, obtained based on experimental studies. Also, these methods do not make adjustment regarding intersections and junctions, hence, the discrepancy between the obtained calculation results is within the range from 100 to 300 vehicles per hour.

CONCLUSION

The existing methods for assessing the long-term traffic intensity for projects of construction of toll roads differ significantly from each other. As a rule, the future traffic intensity is determined by extrapolating and approximating the accumulated statistical data. The accuracy of forecasting using these methods depends on the correct choice of hypothesis. Promising methods are those based on the theory of fuzzy logic and neural network modelling since they allow the use of modern methods of highly intelligent analysis based on the methods of arranging and turning qualitative data to a quantitative value.

REFERENCES

1. Andreyuk, V. S., Ageeva, O. A. On the issue of organisation of travel on toll roads. Analysis of world experience and Russian practices and factors of efficiency improvement [K voprosu ob organizatsii proezda po platnym dorogam. Analiz mirovogo opyta i rossiiskoi praktiki i factory povysheniya effektivnosti]. *Evraziiskiy yuridicheskij zhurnal*, 2018, Iss. 4 (119), pp. 367–368. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34858461>. Last accessed 27.08.2021.

2. Suwanto, F., Kurnianto, Y. F., Setiabudi, B., Sholeh, M. N. Toll road maintenance towards minimum service standard. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 2021, Vol. 700, 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/700/1/012058.

3. Borisov, A. I., Andreev, D. V. Problems of the efficiency of toll roads [Problemy effektivnosti platnykh dorog]. *Finansovaya ekonomika*, 2018, Iss. 7, pp. 2160–2162. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36828855>. Last accessed 27.08.2021.

4. Bryzgalov, V. I., Karpushko, M. O. Peculiarities of toll roads for road transport based on the analysis of Russian and international experience [Osobennosti platnykh dorog dlya avtomobilnogo transporta na osnove analiza rossiiskogo i mirovogo opyta]. *Transport and transport-technological systems. Proceedings of the International scientific and*

technical conference, 2020, pp. 58–61. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44183389&pff=1>. Last accessed 27.08.2021.

5. Andani, I. G. Ayu, Puello, L., Geurs, K. Effects of toll road construction on local road projects in Indonesia. *Journal of Transport and Land Use*, 2019, Vol. 12, Iss. 1, pp. 179–199. DOI: 10.5198/jtlu.2019.1258.

6. Karpushko, M. O., Bartolomey, I. L. Prospects for development of multifunctional road zones on the territory of Perm region [Perspektivy razvitiya mnogofunktsionalnykh dorozhnykh zon na territorii Permskogo kraya] *Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya*, 2017, Iss. 3, pp. 77–93. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30103539>. Last accessed 27.08.2021.

7. Andreyuk, V. S. Features of the system of budget planning and budget execution control in the field of operation of toll roads [Osobennosti sistemy byudzhelnogo planirovaniya i kontrolya ispolneniya byudzhetrov v sfere ekspluatatsii platnykh avtomobilnykh dorog]. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2016, Vol. 1, Iss. 8, pp. 51–54. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26644536>. Last accessed 27.08.2021.

8. Suseno, Yu. H., Wibowo, M. A., Setiadji, B. H. Risk Analysis of BOT Scheme on Post-construction Toll Road. *Procedia Engineering*, 2015, Vol. 125, pp. 117–123. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.018.

9. Setiawan, D., Milyardi, R., Ing, T. L., Rizkiana, C. Risk Allocation Model For Cismudawu Toll Road Projects. *IOP conference series. Materials science and engineering*, 2021, Vol. 1071, 012008. DOI: 10.1088/1757-899X/1071/1/012008.

10. Pankratova, A. V., Ermilov, A. S. Analysis of methods for improving the efficiency of assigning future traffic intensity in the design of highways [Analiz metodik povysheniya effektivnosti naznacheniya perspektivnoi intensivnosti dvizheniya pri proektirovanii avtomobilnykh dorog]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve*, 2018, Iss. 1 (27), pp. 30–32. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32497131>. Last accessed 27.08.2021.

11. Halás, M., Kraft, S. Modeling and Prediction of Long-Distance Traffic Flows Through the Example of Road Transport in the Czech Republic. *Scottish geographical journal*, 2016, Vol. 132, Iss. 1, pp. 103–117. DOI: 10.1080/14702541.2015.1084029.

12. Nguyen, Tin T., Krishnakumari, P., Calvert, S. C., Vu, Hai L., Lint van, H. Feature extraction and clustering analysis of highway congestion. *Transportation research. Part C. Emerging technologies*, 2019, Vol. 100, pp. 238–258. DOI: 10.1016/j.trc.2019.01.017.

13. Zhao, L., Bi, Z., Lin, M., Hawbani, A., Shi, J., Guan, Y. An Intelligent Fuzzy-based Routing Scheme for Software-Defined Vehicular Networks. *Computer Networks*, 2021, Vol. 187, 107837. DOI: 10.1016/j.comnet.2021.107837.

14. Ma, D., Sheng, B., Ma, X., Jin, S. Fuzzy hybrid framework with dynamic weights for short-term traffic flow prediction by mining spatio-temporal correlations. *IET Intelligent Transport Systems*, 2020, Vol. 14, Iss. 2, pp. 73–81. DOI: 10.1049/iet-its.2019.0287.

15. Alkheder, Sh., AlRukaibi, F. Enhancing pedestrian safety, walkability and traffic flow with fuzzy logic. *Science of the total environment*, 2020, Vol. 701, 134453. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134454. ●

Information about the author:
Mikryukov, Konstantin S., Senior Specialist of Russian Highways State Company, Ph.D. student of Russian University of Transport, Moscow, Russia, mkonstya@yandex.ru.

Article received 16.04.2021, approved 05.08.2021, accepted 27.10.2021.





Analysis of the Passenger Transportation in the City of Khujand and the Prospects for its Development



Rakhmiddin S. SALOMZODA



Muzaffar M. BOBOEV

Rakhmiddin S. Salomzoda¹, Muzaffar M. Boboev²

¹ Tajik Technical University named after academician
M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan.

² Polytechnic Institute of Tajik Technical University
named after academician M. S. Osimi, Khujand,
Republic of Tajikistan.

✉ ¹ salomzoda1975@gmail.com.

ABSTRACT

The article examines the state of transport services in the city of Khujand in the Republic of Tajikistan. Particular attention is paid to development of road public passenger routes.

In the framework of the analysis of prospects for development of public transport, the authors suggest a method of analysis of future needs for passenger transportation based on processing array of data on volumes of past passenger flows and construction of trendlines using several mathematical models, comprising relational model. Prognostic model has been verified by comparing analytical and actual data available for the year of the study.

Calculated trends of the growth in demand for passenger transportation have also been confirmed by expert assessment.

The analysis resulted in forecasting growing demand on passenger transportation with public transport in the city of Khujand.

The methods described are basic ones, and to better plan economic activity, more accurate forecasting tools are to be further used. However, convergence of the general trend towards accelerated increase in passenger transportation generated using different basic methods, allows building long-term strategy of development of the urban transport.

Keywords: passenger service, road transport, volume of passenger transportation, bus, quality of service, forecasting, mathematical module.

For citation: Salomzoda, R. S., Boboev, M. M. Analysis of the Passenger Transportation in the City of Khujand and the Prospects for its Development. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 194–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-9>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

In Tajikistan, due to geographical conditions, special attention is paid to development of road transport, which is the dominant mode of transport for movement of people. The development of highways and of new methods of organising passenger transportation in the Republic of Tajikistan is implemented with the use of modern automated traffic control systems.

The key current trends are¹:

- Transformation of city streets and sidewalks according to the purpose and type of traffic to increase equability of traffic.
- A systematic approach to solving problems of the urban transport network by connecting the routes of all types of urban transport.
- Maximum elimination of points of conflict between transport streams and organisation of traffic streams at different levels.
- Expansion of urban highways.

For two years now, the State Communal Enterprise «Musofirkashoni Dar Shahri Khujand» has been providing its services to the population in the city. Its fleet consists of 104 buses of the brands LiAZ 429260 (25 units), LiAZ 529265 (75 units) and TATA (4 units).

The volume of transported passengers, passenger streams, the number of turnovers and their total number were analysed based on observations at transport facilities and on collected statistical data (Table 1).

The analysis has shown that the public transport of the city of Khujand was not able to fully fulfill the plans for circulation of buses in 2019 and to meet relevant preliminary calculations. The buses did not work out their time in accordance with the established standards and regulatory enactments.

In the course of observations, it was revealed that transport services are in demand by residents of the city from 5 a.m. to 10 p.m., but, unfortunately, buses operate from 5 a.m. till 7 p.m., and on some routes they work up to 6 p.m. As a result, the planned number of turnovers is not fulfilled.

The volume of passenger traffic traditionally decreases in summer, and increases in other seasons. The reason for the decrease in passenger transportation during

three summer months is associated with students' and school holidays. According to statistics, about 30–35 % of passengers are students, schoolchildren and education employees and academic staff².

Today, the demand for transport services, the volume of passenger traffic and the need for public transport are constantly growing.

Obviously, it is necessary to predict the passenger traffic in advance for the coming years and, based on these data, make the right choice in terms of the structure of the vehicle fleet and improve the quality of passenger service. These steps will increase the profitability of the transport enterprises themselves, and will give a serious impetus to development of the entire economy of Tajikistan.

To achieve this *objective*, namely, to proceed with the analysis of the state of passenger traffic in the city of Khujand and to determine the prospects for its development for the near future, it is necessary to use mathematical *methods* of analysis that might provide adequate solutions.

RESULTS

To make a forecast of changes in passenger traffic for the medium term, it is necessary to analyse passenger traffic in Khujand over the past several years. The volume of passenger traffic in Khujand over the past five years is presented by the following statistical data (Table 2).

Table 2 shows that the volume of passenger traffic is increasing from year to year. In 2019, as compared to 2015, the volume of passenger traffic increased by 51,6 %. Using this data, we can calculate the forecast up to 2025. For this we use a forecasting model.

A model is an abstract representation of reality in some form (for example, in mathematical, physical, symbolic, graphic or descriptive form), designed to represent certain aspects of this reality and allowing getting answers to the questions under study.

There are three types of models, respectively, hierarchical, network, and relational model.

The *hierarchical model* has a tree structure and expresses vertical links of subordination of the lower level to the higher.

The *network model* is more complex and differs from the hierarchical model by the presence of horizontal links.

¹ National Development Strategy of the Republic of Tajikistan for the period up to 2030. Approved by the Decree of the Government of the Republic of Tajikistan dated October 1, 2016, No. 392.

² Tajikistan in figures 2019: Statistical collection. Dushanbe, 2019.



Table 1

Bus performance indicators by months 2019 [compiled by the authors]

| Months of the year | Number of turnovers | | Number of transported passengers, persons | Passenger turnover, passenger-kilometre | Bus traffic, km | |
|--------------------|---------------------|--------|---|---|-----------------|-----------------|
| | As planned | Actual | | | Total | With passengers |
| January | 38090 | 25367 | 1899834 | 28512158 | 566373 | 556916 |
| February | 32444 | 24269 | 2029321 | 30577002 | 543637 | 535521 |
| March | 32738 | 25073 | 1994136 | 30175980 | 565297 | 556065 |
| April | 32818 | 24272 | 1937239 | 29484286 | 557546 | 548093 |
| May | 33258 | 22402 | 1900677 | 28454251 | 571911 | 563199 |
| June | 30584 | 22987 | 1602420 | 24083188 | 533920 | 527056 |
| July | 29450 | 21477 | 1460112 | 22299933 | 507947 | 501333 |
| August | 25634 | 18449 | 1443757 | 22011988 | 449070 | 442562 |
| September | 29584 | 21766 | 1854558 | 27849930 | 505511 | 498824 |
| October | 29752 | 21527 | 1930247 | 29025388 | 506235 | 498989 |
| November | 27782 | 19871 | 1747894 | 26522211 | 471176 | 463964 |
| December | 27910 | 19763 | 1789615 | 27139416 | 476547 | 468578 |
| Total per year | 370044 | 267223 | 21580810 | 326135731 | 6255170 | 6161100 |

Table 2

The volume of passenger traffic in the city of Khujand (2015–2019) [compiled by the authors]

| Years | Passenger traffic volume (thous. pass.) | Number of vehicles in service (units) | | |
|-------|---|---------------------------------------|--------|------|
| | | Total | Public | Taxi |
| 2015 | 40151,5 | 951 | 890 | 61 |
| 2016 | 43531,1 | 943 | 877 | 66 |
| 2017 | 46664,1 | 917 | 782 | 135 |
| 2018 | 53793,7 | 1057 | 895 | 162 |
| 2019 | 60863,7 | 940 | 725 | 215 |

Table 3

Calculation of indicators of the linear formula to calculate the volume of passenger traffic from 2020 to 2025 [compiled by the authors]

| Years | Volume of passenger transportation, thous. persons | X | x ² | x _y | yx = a + b • x |
|-------|--|----|----------------|----------------|----------------|
| 2015 | 40151,5 | -2 | 4 | -80303 | 38663,4 |
| 2016 | 43531,1 | -1 | 1 | -43531,1 | 43832,1 |
| 2017 | 46664,1 | 0 | 0 | 0 | 49000,82 |
| 2018 | 53793,7 | +1 | 1 | 53793,7 | 54169,5 |
| 2019 | 60863,7 | +2 | 4 | 121727,4 | 59338,2 |
| Sum | 245004,1 | 0 | Σ10 | 51687 | |
| 2020 | | +3 | | | 64506,9 |
| 2025 | | +8 | | | 90350,4 |

The *relational model* is represented as a set of tables, over which operations are performed, formulated in terms of relational algebra.

To implement our task, we use a mathematical relational model.

Mathematical models are formalisable, that is, they are a set of interrelated mathematical and formal-logical expressions, reflecting, as a rule, real processes and phenomena (physical, mental, social ones, etc.).

For calculations, the method of mathematical modelling is used. The graph of the data given

above in Table 2 is determined based on a linear equation according to the following formula:

$$yx = a + b \cdot x, \quad (1)$$

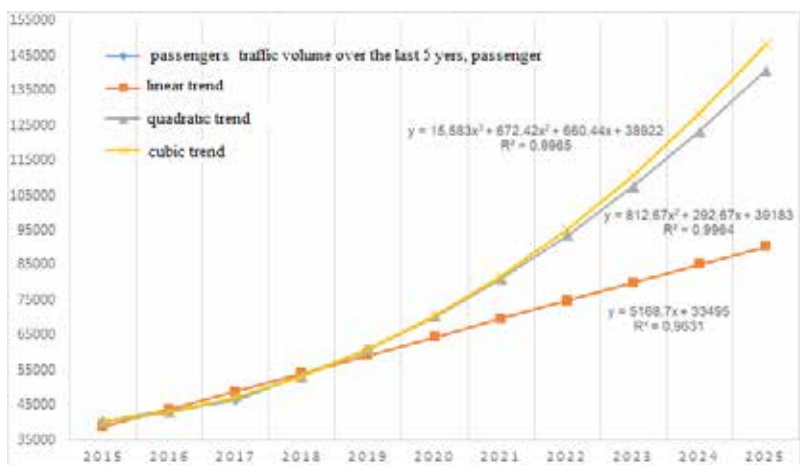
where yx – regional passenger turnover, persons;

x – the period of study of passengers;

a – indicator of the average volume of passenger traffic, persons;

b – indicators of the average increase in passenger traffic, persons.

The average passenger traffic over the last five years (s) is determined by the following formula:



Pic. 1. Diagram of changes in the volume of passenger traffic for 2020–2025 [compiled by the authors].

$$a = \frac{\sum y}{n}, \text{ persons;} \quad (2)$$

$$a = \frac{245004,1}{5} = 49000,82 \text{ thous. persons.}$$

The increase in the average number of passenger traffic (b) is found by the following formula:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2}, \text{ pass.;} \quad (3)$$

$$b = \frac{51687}{10} = 5168,7 \text{ thous. pass.}$$

The indicators for 2020 are determined by extrapolating the series:

$$y = 49000,82 + 5168,7 \cdot 3 = 64506,9 \text{ thous. pass.}$$

After calculating these indicators, the result is displayed in Table 3.

Thus, we determined that in 2020 passenger traffic in Khujand should have amounted to 64 506,9 thousand passengers. By 2025, passenger traffic is expected to increase by 48,4 % compared to 2019. According to scientists and researchers, such forecasts are close to reality, and on their basis, preliminary calculations can be planned.

Let's check the correctness of this forecasting method using Microsoft Excel. Similar methods

are described in [3; 4]. With the help of this program, we will identify trends regarding increase in passenger traffic.

A trend is a type of input function that can be used to approximate a graph with data in a table. The trend is used to determine the upward tendency, it is obtained in the form of a chart and performs the analysis for various specified periods.

Let's get formulas using functions of Microsoft Excel.

To obtain data, the formulas drawn up are shown in the following table (Table 4).

According to the results of the calculations given in Table 4, a graph (diagram) of passenger traffic is drawn up (Pic. 1).

Using Excel functions and data of Table 4, it is also possible to predict the dynamics of passenger traffic growth in Khujand for 2020–2025, which is shown in the following table (Table 5).

BRIEF CONCLUSION

The forecast results obtained based on the methods of mathematical modelling have been indirectly confirmed through interviews with the experts who agreed with described trends.

Table 4

Trend analysis of passenger traffic volume

| No. | Type of analysis | Indicators |
|-----|------------------|--|
| 1 | Linear trend | $y = 5168,7x + 33495,$ $R^2 = 0,9631$ |
| 2 | Quadratic trend | $y = 812,67x^2 + 292,67x + 39183,$ $R^2 = 0,9964$ |
| 3 | Cubic trend | $y = 15,583x^3 - 672,42x^2 + 660,44x + 38922,$ $R^2 = 0,9965$ |

Source: Authors' calculations using the data of Table 2.



Dynamics of growth of passenger transportation and forecast of its development until 2025 [compiled by the authors]

| No. | Years | Passenger traffic volume, thous. pass. | Linear trend | Quadratic trend | Cubic trend |
|-----|-------|--|--------------|-----------------|-------------|
| 1 | 2015 | 40151,5 | 38663,7 | 40288,34 | 40270,44 |
| 2 | 2016 | 43531,1 | 43832,4 | 43019,02 | 43057,22 |
| 3 | 2017 | 46664,1 | 49001,1 | 47375,04 | 47375,84 |
| 4 | 2018 | 53793,7 | 54169,8 | 53356,4 | 53319,79 |
| 5 | 2019 | 60863,7 | 59338,5 | 60963,1 | 60982,58 |
| 6 | 2020 | | 64507,2 | 70195,14 | 70457,69 |
| 7 | 2021 | | 69675,9 | 81052,52 | 81838,63 |
| 8 | 2022 | | 74844,6 | 93535,24 | 95218,9 |
| 9 | 2023 | | 80013,3 | 107643,3 | 110692 |
| 10 | 2024 | | 85182 | 123376,7 | 128351,4 |
| 11 | 2025 | | 90350,7 | 140735,4 | 148290,6 |

The forecast results, showing growing needs for passenger transportation with public transport of the city of Khujand, can be used to develop the corresponding preliminary plans for development of passenger transport, considering satisfaction of the needs of the urban population, improving quality of services, as well as creating an automated control system for passenger road transport.

While the described methods are basic ones and do not provide accuracy of forecasting, it is important to note that results obtained by different methods are consistent in the sense of unambiguously confirmed trend towards growing demand. More accurate forecasting tools should be used while planning implementation measures to develop urban public transport.

REFERENCES

1. Bobiev, R. S., Shokhmuzafari, S. Problems of development of management of passenger traffic in the city of Dushanbe [*Problemy razvivitiya upravleniya passazhirskimi perevozkami goroda Dushanbe*]. Young researcher: challenges and prospects: collection of articles based on the materials of III International Scientific and Practical Conference «Young Researcher: Challenges and Prospects», Moscow, Internauka publ., 2016, Iss. 1 (3). pp. 289–298. [Electronic resource]: <https://www.internauka.org/archive2/moluch/1%283%29.pdf>. Last accessed 06.07.2021.
2. Volodkin, P. P. Optimisation of transport services for the population of municipalities, taking into account social factors. Abstract [*Optimizatsiya transportnogo obsluzhivaniya*

naseleniya munitsioalnykh obrazovaniy s uchetom sotsialnykh faktorov. Avtoreferat]. Volgograd, 2011, 42 p. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19353430>. Last accessed 06.07.2021.

3. Dubina, A. G., Orlova, S. S., Shubina, I. Yu. [et al]. Excel for economists and managers [*Excel dlya ekonomistov i menedzherov*]. St. Petersburg, Piter publ., 2004, 295 p. [Electronic resource]: <https://obuchalka.org/2013111674529/excel-dlya-ekonomistov-i-menedzherov-dubina-a-g-orlova-s-s-shubina-i-u-hromov-a-v-2004.html>. Last accessed 06.07.2021.

4. Garnaev, A. Yu. Microsoft Excel. Application Development [*Microsoft Excel. Razrabotka prilozhenii*]. St. Petersburg, BHV – Saint Petersburg publ., 2000, 576 p. ISBN 5-8206-0091-6.

5. Spirin, A. B., Yakunin, N. V., Yakunin, H. H. Model of organisation of transport services for the population by road transport along the routes of regular transportation [*Model organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya avtomobilnym transportom po marshrutam regul'yarnykh perevozok*]. Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaistvo, 2013, Iss. 3, pp. 63–66. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18789397>. Last accessed 06.07.2021.

6. Fattidinov, B. R., Bobiev, R. S., Boboev, M. M. Analysis of modern circumstances of servicing passengers by motor transport in the city of Khujand, problems and development prospects [*Analiz sovremennykh obstoystelstv obsluzhivaniya passazhirov avtomobilnym transportom v gorode Khudzhande, problemy i perspektiva razvitiya*]. Polytechnical Bulletin. – Series: Engineering Research, 2019, Iss. 2 (46), pp. 99–107. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Last accessed 06.07.2021.

7. Boboev, M. M. Analysis of passenger traffic in the Sughd region [*Analiz passazhirskikh perevozok v Sogdiiskoi oblasti*]. Academy Scientific-methodical journal, 2018, Iss. 1 (28), pp. 36–41. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32314336>. Last accessed 06.07.2021.

Information about the authors:

Salomzoda, Rakhmiddin S., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Organization of Transportation and Transport Management of Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan, salomzoda1975@gmail.com.

Boboev, Muzaffar M., Assistant Lecturer at the Department of Cars and Transport Management of Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Khujand, Republic of Tajikistan, muzaffar-bm@mail.ru.

Article received 17.12.2020, approved 21.10.2021, accepted 01.11.2021.



Optimising Train Speed



Dmitry Yu. Levin

*Research and Design Institute for Information Technology, Signalling
and Telecommunications in Railway Transportation (JSC NILAS), Moscow, Russia.*
✉ levindu@yandex.ru.

Dmitry Yu. LEVIN

ABSTRACT

The importance of the train speed is considered relative to activity of railways, presenting a wide panorama of influence, on the one hand of speed on the process of transportation of goods and passengers, and, on the other hand, of rolling stock, infrastructure, and organisation of transportation on speed.

The objective of the article is to extend the ideas about the speed on railways with the help of analysis of Russian and international history of development and results of the study of the train speed.

Despite, it would seem, all the certainty of speed of movement, the history of its development testifies to a wide range of opinions

and non-obviousness of estimates. The historical review contains opinion on the development of the problem and interaction between the speed and other parameters.

The interaction of train speed with all components of the transportation process is described by various dependencies. Therefore, the economic efficiency from increasing speed of trains can be obtained only with a system approach.

Analysis of modern research shows the potential capacity to increase the speed. The results of the author's research reveal the in-depth possibilities and expediency of increasing train speed.

Keywords: railways, speed, interaction of speed with other indicators, regulation, performance, train weight, system approach, train traffic intensity and density, speed distribution.

For citation: Levin, D. Yu. Optimising Train Speed. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 199–216.
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-10>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Speed has excited humanity since time immemorial. This direction of scientific and technological progress has made it possible to master the surface of the planet, near-earth space, and in the near future will help to travel beyond the limits of the Solar system. And, nevertheless, the point has not yet been made in the study of the issues of speed of movement with regard to railway transport. The factors influencing train speed and the influence of speed on weight of trains, fuel consumption and transit capacity are known. But so far there is no complete picture of speed of the transportation process.

Train speed is associated with time of delivery of goods [1]. But in the transportation process, movement of goods in trains is less than a third of the delivery time. The rest of time of delivery, the goods are at the stations and are subject to cargo, technical and technological operations. And the time when cargo remains at stations and at loading facilities is not associated with speed and is called «time of stay» and «execution of operations». As a result, on a part of the cargo transportation route, there is a struggle for acceleration, measured in minutes, and on other parts of this route, there is downtime, measured in hours.

Train speed is the maximum allowable, estimated, running, technical, speed at the section, route speed, and at the stations it is called «stay» and «downtime». To move, infrastructure, rolling stock, fuel is needed, and for downtime at the stations, nothing is needed except ... «third party's» cars.

Speed, like all elements of the transportation process technology, have two sides of the coin. One is associated with regulatory and technological documents regulating speed, the other is their implementation. Currently, much more attention is paid to development of regulatory and technological documents than to their implementation. As it were, it is assumed that the main thing is to develop a timetable, a plan for train assembling, etc. and they will automatically implement their capabilities. But the level of respect of the traffic schedule, especially for freight trains, is far from 100 %. Or, the automated system for monitoring execution of the train assembling plan looks quite absurd if it completely ignores operational adaptation of organisation of car traffic to real situations through considering fluctuations in size of wagon flows, accumulation time of trains, load-

ing of stations, possibility of timely provision of trains with locomotives, etc.

Therefore, we will also consider the problem of speed from the aspects both of regulation and of implementation possibilities.

Of all the variety of indicators of operational work, weight and speed of trains have the most systemic impact on organisation of the transportation process. It is impossible to consider speed of movement in isolation from weight of trains. Both these indicators are derived from the capabilities of rolling stock and infrastructure. Great changes are constantly taking place in the technical equipment of railway transport, which can be used either to increase weight or to increase speed of trains. Weight and speed are not constants, but the most important parameters for regulating the network operation mode, which determine quality of transport product [2].

Increasing speed of freight and passenger trains is an important opportunity to increase transit capacity of railway lines, accelerate delivery of goods, reduce travel time of passengers, and increase efficiency of using locomotive crews and locomotives. At the same time, a system approach to the conditions and organisation of the transportation process and to its indicators requires considering, first, that under the conditions of limited technical and technological capabilities of the railway network, simply increasing the established speeds is not always effective. Secondly, there is an inversely proportional relationship between speed of movement and weight of trains, therefore, an increase in speed with unchanged technical equipment causes a decrease in weight of trains and an increase in the number of trains on the section. Thirdly, an increase in train speeds is associated with an increase in consumption of fuel and energy resources. Fourthly, speed affects the efficiency of using locomotive crews and locomotives, as well as accelerated delivery of goods. Fifthly, increase in speed causes additional costs for infrastructure maintenance. Sixthly, there is a share of wagons and goods requiring speed limits. Seventhly, faster pace of development of the passenger complex restrains and limits speed of freight transportation, which constitutes the main income of JSC Russian Railways. Eighthly, speed of movement is influenced by the shortage of transit and processing capacity, temporarily suspended freight trains, maintenance of an excess of the working fleet of wagons and over-saturation of sections with trains. Therefore, an

isolated consideration of increase in train speeds, separate from other parameters, indicates an unsystematic solution to the issue.

The length of the main tracks on which speed of movement of freight trains of 90 km/h is allowed (in accordance with Rules of technical operations) is less than 10 % of the operational length of the railway network. A few years ago, there were no sites with such a maximum permissible speed at all.

Increasing only the governed speed of freight trains without taking measures aimed at increasing technical, route and delivery speeds, speed at section is ineffective. The implementation of measures to increase the governed speed on the network sections, for example, from 80 to 90 km/h, with strengthening of the railway infrastructure, but without considering traction properties of the locomotive, may not lead to an increase in technical speed and speed at sections [3].

Considering the ways to increase the governed train speed, it is necessary to develop comprehensive measures to strengthen track facilities and power supply along with traction calculations to determine the possibilities for locomotives to follow the set speed, considering the passage of the estimated climbs at the rated speed without overheating of the traction equipment. The system approach also requires considering the possibility of increasing the route speed and speed at section by reducing downtime at stations.

HISTORICAL OVERVIEW.

Domestic Experience of Increasing Speed

The history of development of Russian railways witnesses a consistent increase in speeds. At the beginning of 20th century, several steam locomotives were created, which served fast and courier trains. Back in 1901, on St. Petersburg–Moscow railway, courier trains operated at a maximum speed of 110 km/h. In 1910, a high-speed steam locomotive was built at Sormovo plant, it received the C index and was recognised as one of the best European locomotives of its time (Pic. 1).

In 1913, in trial trips, a steam locomotive of the C series attained the speed of 125 km/h, and in 1915, a steam locomotive of the L series reached the maximum speed of 117 km/h.

From the beginning of 20th century, professor N. L. Schukin had been hatching the idea of putting speed trains into operation between St. Pe-



Pic. 1. Steam locomotive of the type 1-3-1, one of the first in C series.

tersburg and Moscow, but the outbreak of war did not allow these plans to be realised.

In 1938, for the first time in the USSR, speed of 177 km/h was reached on Moscow–Leningrad main railroad when testing a steam locomotive manufactured by Kolomna plant with an axial formula of 2-3-2 (pilot wheelsets, locomotive drivers, rear supporting wheelsets) and axle load 20,5 t. Trips (experimental and operational) were carried out on rails weighing 43,6 kg/m.

In the post-war period, the USSR implemented an unprecedented General Plan for technical re-equipment of the railways based on electrification. In the 1960s, a set of experimental trips was carried out between Moscow and Leningrad, then the maximum speed reached 220 km/h.

In 1972, experimental trips of a passenger car with a turbojet engine at a speed of 240 km/h were carried out in the USSR.

The first projects of Moscow–Leningrad speed line were developed back in the 1930s (K. N. Kashkin, G. D. Dubiler, I. V. Romanov). The most famous speed train was Krasnaya strela [Red Arrow]. The first express train departed from Leningrad on June 9, 1931. However, in reality, work on organising railway traffic at increased speeds started only at the end of the 1950s.

One of the first documents that defined the program for increasing speed of trains on Oktyabrskaya railway was the order of the Ministry of Railways dated May 29, 1957 «On preparation of Moscow–Leningrad line for movement of passenger trains at increased speeds». In the same year, the first TE7 diesel locomotives were delivered to Oktyabrskaya railway, they played a significant role in development of speed traffic. The maximum speed of passenger trains reached 140 km/h. The whole trip from Moscow to Leningrad lasted 5 hours 54 minutes.

After laying a continuous track made of R65 rails, replacing turnouts, completing electrifica-



Table 1

Main indicators of some speed railways at about 1965

| Country | Section (line) | Length of the section, km | Name of the express train | Maximum speed, km/h | Route speed, km/h |
|---------------------|-----------------------|---------------------------|---|---------------------|--|
| USSR | Leningrad–Moscow | 650 | «Aurora» | 160 | 130,4 |
| Great Britain | London–Lester | 169,5 | «Midland Pullman» | 140 | 112 |
| Italy | Rome–Naples | 210 | « Freccia del Vesuvio (Vesuvian arrow)» | 140–160 | 120 |
| USA | Los Angeles - Chicago | | «Super Chief/El Capitan» | 160 | 132 |
| France | Paris–Marseilles–Nice | 314 | «Mistral» | 160 | 131 |
| Germany–Switzerland | Duisburg–Geneva | 570 | «Rheingold» | 160 | 107 (136,2 km/h in 1964 on the section Freiburg–Carlsruhe) |

Data based on various sources differ significantly. The table contains some of them as illustrative information since in-depth study of the issue is beyond the scope of the article.

tion, in 1964 on Moscow–Leningrad line, the daily Aurora express train was put into circulation with a route speed of 130,4 km/h, it was trained by electric locomotives of the ChS2 series.

The results achieved in speed traffic on Leningrad–Moscow line by the mid-1960s were comparable to those of speed railways in Japan, France, Italy, the USA, and other countries leading in this area, as can be seen from Table 1.

The first in the USSR ER 200 speed train («Electric train Rizhsky»), with a maximum speed of 200 km/h, was developed and manufactured in 1968–1974. Since 1984, the ER 200 electric train has been operating on Moscow–Leningrad line. The travel time of the train between the end points was 4 hours 30 minutes, the route speed was 144 km/h. Simultaneously with the ER 200, development of another speed train was carried out. It was called the Russian Troika and was designed for a speed of up to 200 km/h. The train was supposed to be of a permanent composition including RT 200 cars of Kalinin (since 1990 Tver) car building plant and the ChS 200 electric locomotive (produced in Czechoslovakia). Eight experimental cars were manufactured, showing good results in tests, however, the Russian Troika train has never been commercially operated.

Since 1994, a sectoral program for development of speed traffic has been implemented in Russia, following it, projects have been implemented to create special rolling stock for maximum speeds of up to 200 km/h, speed passenger electric locomotives EP 100 DC and

EP 200 AC, passenger cars of various classes for speed traffic.

In 2009, express Sapsan trains, produced in cooperation with Siemens, began to operate on Moscow–St. Petersburg line. The maximum speed of these trains is 250 km/h. The distance of 650 km is covered in 3 hours 45 minutes. In the first year, 2 million passengers were transported. In the summer of 2010, Sapsan trains started operations on Moscow–Nizhny Novgorod route.

In December 2010, Allegro speed trains, manufactured by Alstom, began regular service between St. Petersburg and Helsinki. The maximum speed of the new electric train in Russia is 200 km/h, in Finland – 220 km/h. Travel time on this international route has been reduced from 6 hours 18 minutes to 3 hours 30 minutes.

One of the strategic directions of innovative development of JSC Russian Railways is expansion of high-speed passenger train traffic. The decree «On measures to organise high-speed rail in the Russian Federation» signed by the President of the Russian Federation on March 16, 2010, testifies to the importance attached to high-speed passenger train traffic.

The Issue of Choosing Optimal Speed

At the very beginning of 20th century, engineer B. D. Voskresensky in his work «Theory of railway trains' operation» proposed as the main criterion for solving the question of the most advantageous weight and speed for freight trains to determine the value of $\max QV_x$ at an equivalent climb and came to the conclusion that on the sections with a light track profile, it is more

profitable to drive heavy trains at lower speeds, and on sections with a difficult track profile, it is advisable to drive trains of lighter weight, but with higher speeds.

Professor A. L. Vasyutinsky, proceeding from the calculations of the cost of transportation associated with operation of rolling stock, came to the opposite conclusion that as the equivalent rise increases, it is more expedient to increase train weight and to reduce speed.

Engineer V. N. Shcheglovitov [4] rightly raised the question of finding not $\max QV_x$, but the value of $\max QV_{sec}$ since the carrying capacity of a section is determined by the speed at section (at that time it was called commercial speed. – *auth.*), and not by the running speed, and with an increase in the number of trains on a single-track section, the section speed decreases. Hence, it was concluded that for single-track sections the largest train is the most advantageous.

In the 1920s, it was proposed to determine the economic assessment of speed by the influence of power of locomotives on the cost of transportation:

$$E = A + \frac{B}{Q},$$

where E – full operating costs;

A – costs that do not depend on train weight;

B – costs depending on train weight;

Q – train weight.

Professor I. I. Vasiliev in work [5] concluded that to obtain the minimum fuel consumption per 1 t•km of transportation and to achieve the maximum transit capacity of the section, train weight and speed must correspond to the point of intersection of the curves corresponding to limitation of the traction force for steam traction as far as adhesion and boiler thrust are concerned.

Professors A. M. Babichkov and V. F. Egorchenko in the book [6, P. 247] noted: «For freight trains, estimated speed on the ascent is usually taken as the highest speed at which the traction force of the locomotive is fully utilised as far as coupling, generator or engine is concerned, in other words, it is the speed corresponding on the diagram $F_k = f(V)$ to the intersection point of line of traction according to adhesion with line of tractive force according to generator or the engine. This speed is sometimes called the threshold speed or speed of reaching the automatic characteristic since on the diagram $F_k = f(V, z)$ it corresponds to the break point of the thrust force curve». Thus, the authors consider the best use

of the traction force of the locomotive to be the initial criterion in establishing train weight, and that also determines the minimum value of the cost of transportation.

Professor V. N. Orlov [7] concluded that the most advantageous running speed with a constant train weight has a minimum cost of transportation, and at ruling gradient it has the lowest cost of transportation for a given size of freight turnover.

Professor A. I. Ionnisyan [8] argued that with an increase in the maximum permissible speed for powerful locomotives, it is also necessary to increase estimated speed at the ruling gradient. The speed when climbing at the ruling gradient should be set in accordance with the conditions for achieving the minimum cost of transportation.

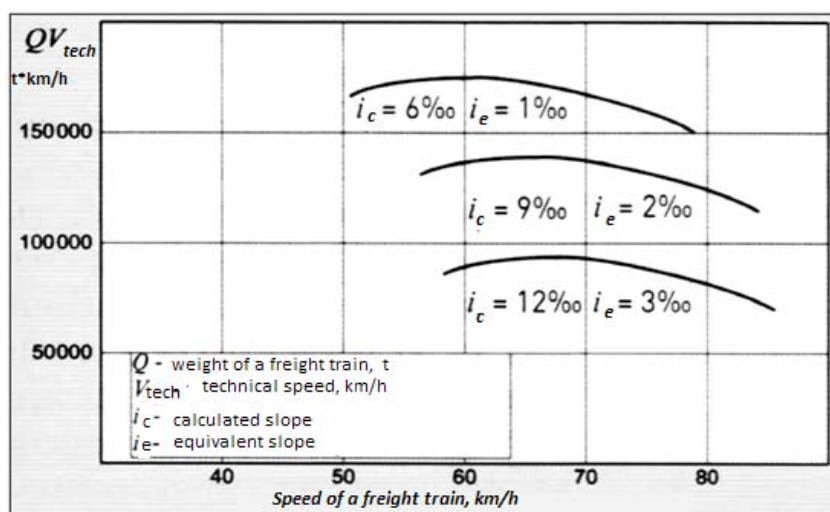
Professor A. E. Gibshman [9] proposed a method for direct calculation of the types of steam locomotives being compared based on preliminary construction of a special grid and contoured lines for the dependence of costs on train weight and speed for various sizes of freight turnover.

In the Rules of traction calculations for train operation, published in 1956 and 1985 [10], it is proposed to determine train weight and speed based on the conditions of the full use of the power of locomotives and the kinetic energy of the train, i.e. to proceed from the principle of using the greatest possible train weight in terms of locomotive power.

Back in the middle of 20th century, Academician T. S. Khachaturov studied the problem of the dependence of performance of locomotives on speed of freight trains and established this dependence for various values of ruling and equivalent gradients (Pic. 2). For the given ruling and equivalent gradients, the initial weight of the freight train was taken, for which the distance travelled in 1 hour was calculated. Then train weight was increased step by step. Initially, the train travelled the calculated distance with the maximum possible speed. With an increase in train weight, its speed decreased, and performance of the locomotive increased due to the increase in train weight. With a further increase in train weight, the decrease in speed was no longer compensated by the increased train weight, and productivity of the locomotive began to decline.

Professor B. E. Peysakhzon [11] researched and developed a methodology for choosing the optimal values of weight and speed of trains for various types of traction, which made it possible





Pic. 2. Dependence of productivity of the locomotive on technical speed.

to select new types and use existing locomotives based on operational requirements and technical and economic calculations.

Foreign Experience of Increasing the Speed

The history of development of railway transport has many achievements in the field of increasing traffic speed, often they were a kind of technical sensations. Back in 1847, in England, on one of the sections of the Great Western Railway, 92 km long, passenger trains reached a speed of 93 km/h. By the end of 19th century, in Great Britain, France, Germany, and the USA, passenger trains attained a speed of 70–80 km/h. In 1890 the steam locomotive «Crampton» in France with a train weighing 157 tons reached the speed of 144 km/h. The speed limit of 200 km/h was overcome for the first time by a German electric train. In 1903, on Marienfelde–Zossen section, a speed of 210 km/h was reached during tests.

In 1955 in France, for the first time, the threshold of 300 km/h was exceeded, and a speed record was set, it reached 331 km/h. This record was improved on February 28, 1981, with the TGV train reaching the speed of 380 km/h.

The ongoing work in this area shows that the traditional wheel–rail transport system has not exhausted its capacity. In 1988, in Germany, when testing an experimental ICE train, a speed of 406,9 km/h was reached. But this milestone was soon surpassed: in 1989 the TGV train in France reached a speed of 412 km/h, then 482,4 km/h, and finally, in May

1990, an incredible speed record was set, that of 515,3 km/h.

For the first time in the world, the idea of high-speed rail traffic was implemented in Japan (Pic. 3) between the cities of Tokyo and Osaka, where in 1964 the high-speed Tokaido railway with a length of 516 km was put into operation. The maximum speed on the new line was 210 km/h, and the trip from Tokyo to Osaka took 3 hours 10 minutes.

High-speed trains have gained wide acceptance among the population due to their high speed and comfort. Within 5 years, passenger transportation on this line more than doubled and reached 70 million people per year. This significant amount of operations provided a solid foundation for cost-effectiveness of the high-speed line and allowed Japanese railways to plan further construction of such lines.

In 1970, Japan passed a law to establish a nationwide high-speed rail network called Shinkansen. This gave a new impetus to development of high-speed traffic. In 1975, Sanyo high-speed line was put into operation. Having crossed the strait, this line reached the city of Fukuoka, connecting two islands – Kyushu and Honshu.

1982 saw the opening of two more new high-speed lines (HSR): the Tohoku Line north of Tokyo linking Omiya and Morioka, and the Joetsu Line, which crosses Honshu Island from the Sea of Japan to the Pacific Ocean with Omiya–Niigata route. In the early 2000s, the length of the high-speed rail network in Japan,



Pic. 3. The first high-speed electric train (Japan).

which included six main lines, exceeded 2100 km, and the maximum speed of trains running along it was 240–260 km/h (Pic. 4).

Shinkansen main lines are intended for passenger traffic only. Unlike conventional railways, which have a narrow gauge, the gauge of high-speed lines complies with the European standard and is 1435 mm. As a result, Shinkansen-type trains are forced to operate in a closed system. High-speed main lines go directly to the centres of cities and settlements, crossing them through overpasses 25–30 m high.

When creating the Shinkansen network, Japanese specialists solved a number of complex engineering problems associated with choice of a track structure, creation of new rolling stock, engineering structures and other technical tasks.

Traffic safety devices occupy a special place in these developments. The principle of their work is that in case of any malfunction or violation of the operating mode that poses a threat to safety, the train stops immediately. For land transport, this means eliminating the hazard. Practices have proven high efficiency of the applied safety and security systems. During the entire operation of the Shinkansen lines, not a single accident or crash occurred, not a single passenger was killed or injured. By the end of the 1990s, about 3 billion people had been transported.

Every day, 427 high-speed express trains run along the Shinkansen main line, carrying more than 440 thousand people.

A lot of work is underway to create new-generation trains with the aim of achieving a speed of 300–350 km/h on the existing Japanese high-speed rail network. Since the permanent devices of this network were designed for speeds

up to 250 km/h, it was necessary to significantly reduce the axle load. This was achieved: in the experimental train, axle load is less than 8 tons.

France is the ideologist of high-speed rail systems in Europe. After two years of theoretical development, in 1976 the National Society of Railways (SNCF) began construction of Paris–Lyon high-speed railway, and in September 1981 the high-speed TGV train saw the green light on the line (Pic. 5). The design of the TGV system was carried out in such a way that trains could run on the new line at a speed of 270 km/h and switch to the regular rail network. Due to this, an accelerated railway connection between Paris and the south-eastern regions of France was provided. Currently, TGV trains operated on the south-eastern direction serve more than 50 settlements with 56 % of the country's population. The length of the TGV-South-East network is 2487 km, of which 417 km are on the new line.

The commercial speed of movement has sharply increased. On Paris–Lyon route, it was 213 km/h, and the travel time between these cities was reduced to 2 hours.

Based on the first successes, the SNCF proposed, and the President of the Republic and the government decided to build a new high-speed line TGV–Atlantic, which was put into operation in September 1989. The total length of the line is 285 km.

As well as TGV–South-East line, the new high-speed line is intended exclusively for passenger transportation. A new generation of high-speed TGV–Atlantic trains has been created for the Atlantic line, with a maximum speed of 300 km/h for commercial operation on newly constructed sections, and 220 km/h on conventional railway lines.





Pic. 4. Japanese high-speed electric train of 300 series.



Pic. 5. French high-speed double-decker electric train TGV Duplex.

Then the northern high-speed rail serving ways to Belgium and to the tunnel under the English Channel (332 km); HSR bypass around Paris, connecting high-speed lines of France and several European countries (102 km) into a single network were put into operation. By 2014, the total length of the French HSR had attained almost 1500 km, and the construction of several more lines continued.

The French concept of high-speed rolling stock provides for creation of permanently assembled trains with locomotive traction. Two electric locomotives are placed at the ends of the train, and passenger cars are located between them. A special feature of the French TGV train is the use of coupled cars on intermediate bogies.

In Germany, the first HSR line appeared in 1991, today the length of such lines is 800 km (Pic. 6). In Spain and Italy, high-speed lines with a length of 471 and 236 km, respectively, were introduced in 1992.

In 1992, trains consisting of cars with forced tilting of bodies began to run in Sweden. These trains reached the speed of 220 km/h. Up to 20 types of such cars have already been created in different countries.

In the UK, three main routes are being improved: London–Glasgow, London–

Newcastle–Edinburgh and London–Bristol–Cardiff to achieve speeds of 225 km/h.

Following Europe and Japan, high-speed traffic is developing in the United States, where road and air modes of transport have played a major role for a long time. There were seven projects in the USA to build high-speed rail systems. Some of them are under consideration, others have undergone scientific research and pre-project development. Currently, the highest speed (240 km/h) for passenger trains has been attained on a section in the so-called North-East corridor on Washington–New York segment. On the new main lines, the speed will reach 270–300 km/h.

Work on the creation of ultra-high-speed railways is being carried out on almost all continents. Australia announced plans to build a high-speed line between Sydney and Melbourne. High-speed trains for it will be supplied by the leading manufacturers in France and Germany, which have succeeded in creating trains of the TGV and ICE types. German enterprises are to supply Australia with bullet-speed locomotives, and French ones with cars. The new 870-kilometer line will be operated with 30 pairs of trains with an average speed of 292 km/h and a maximum speed of 350 km/h.



Pic. 6. German high-speed electric train ICE 3.

This review in the context of the article does not cover the latest HSR developments, comprising improvements in infrastructure, construction of new HSR lines, technology of new rolling stock since there are numerous research papers dedicated to the issue, including fast HSR developments in China, focusing on evolution of train speed. But it is impossible to neglect some interrelated aspects.

On high-speed lines, the track design, signalling and communication devices basically keep the traditional principles.

However, they are becoming qualitatively new in terms of science intensity, reliability, and maintenance methods. Their essential elements include microprocessors and computers, diagnostic and information sensors, devices of fine sensitivity for detecting earthquakes, snowfalls, and other emergency situations. All this together with double and sometimes triple redundancy ensures 100 % traffic safety.

The main trends in creation of new types of high-speed electric trains are maximum reduction in the weight of the cars, reduction of energy consumption due to high aerodynamic performance, the use of computers and microprocessor devices, as well as new, more economical, and reliable systems, electrical equipment for traction.

At present, the HSR system has been technically, technologically, and economically tested. High-speed lines have already been built, are under construction or being designed in many countries of the world for almost 50 years. The high efficiency of HSR has been proven, and therefore, today any country, if there are necessary economic conditions for this, can design and build HSR using well-known technical and technological solutions.

Modern Research

Increasing and optimising train speed is a priority task for JSC Russian Railways. Practically the entire scientific potential of the industry is engaged in solving these problems.

Ph.D. (Economics) A. V. Kudryavtseva [12] investigated the long-term dynamics of weights and speeds of freight trains from the point of view of innovative development of railway transport and generalised the resulting economic effects caused by grown values of these indicators.

Specialists of JSC IERT [3], when analysing the increase in speed of freight trains on Barabinsk–Tatarskaya–Moskovka section from 80 to 90 km/h, concluded that economic efficiency indicators depend on the presence (or absence) of infrastructure transit capacity reserves, the possibility of attracting additional volume of freight traffic or optimisation of the transportation process by switching (returning) cargo flows to the shortest routes, the presence of an additional cargo origin sources, confirmed by an appropriate forecast, the size of traffic on the section under consideration, the cost of measures aimed at increasing traffic speed.

Specialists of JSC VNIIZhT [13] investigated the possibilities to streamline the technology of freight trains by updating the timetable developed using ELBRUS hardware and software complex, which made it possible to increase the route speed and speed at sections on Isilkul–Chelyabinsk segment of the South Ural railroad.

Specialists of Far-Eastern State Transport University [14] with the help of the network planning and control system and the ERA software complex investigated the dependence of technical speed and speed at the sections on the governed permissible train speed. Calculations



have shown the economic efficiency of increasing average travel speeds by planning and controlling the increase in allowable train speeds within the network.

Specialists of Samara State Railway University [15] analysed the interaction of train speed with other volumetric and economic indicators on the network routes Kuzbass–Chelyabinsk–Syzran–n.a. M. Gorky–Tikhoretskaya–ports of Azov-Black Sea basin. The relationship between train speed and the transit capacity of the section was obtained. But the nature of the curve indicates a constant length of block sections, while with an increase in train speed, the length of block sections should increase, and with high-speed traffic this even leads to a decrease in transit capacity.

Specialists of Rostov-on-Don State Transport University [16] investigated the effect of increasing speed of freight trains on assessment of income and expenses. The factors influencing speed were analysed. The expediency of separation of freight and passenger traffic is considered. For the North Caucasian railway, a relationship has been established between the working fleet of wagons, speed at the section and budget indicators.

In recent decades, guidelines of JSC Russian Railways, programs, methodological recommendations, and projects aimed at increasing speed of trains have been developed and implemented.

TRAIN SPEED ANALYSIS

With maximum traffic and minimum inter-train intervals, the flow of trains becomes unstable, and the process of movement becomes unsteady. Different qualifications of drivers, modern design of speed meters and other factors do not allow the maximum permissible speed to be achieved.

The decoding of speedometers' tapes showed that freight train drivers almost always travel at a speed less than the calculated one or set by the limit warning. When trains are running under a green light of a railway traffic light, i.e. when the distance between trains is more than the length of three block sections, the calculated rate of running speed is not fulfilled on average by 20 %, and the scheduled speed rate – by 8 %. When the distance between trains is less than three or more than two block sections and they follow part of way having a yellow light, the average speed is, respectively, by 46 and 38 % lower than the

estimated standard rate, and travelling having a yellow light they have a speed by 63 % lower. The actual speed of train differs from the calculated one in a wide range from 0,2 to 1,2. The wide spread of speeds is explained, first, by the different skills of drivers, who react differently to the readings of traffic lights, often performing premature braking.

An increase in average train speeds usually results in an increase in specific consumption of electricity or fuel following increase in main resistance to movement and energy losses in brakes. Increase in average speeds provides the greatest economic effect with a lean mode of train driving, which, if strictly respecting the schedule, causes the lowest specific consumption of electricity or fuel. The complexity of the development and practical use of reasonable modes of train driving lies in the fact that they are different for different operating conditions, with electric traction, voltage in the contact network is subject to change; depending on the technical condition, the characteristics of electric machines on locomotives differ. The maps of train driving modes compiled for some average operating conditions on the same sections for different drivers have deviations both up and down from the established rate of specific consumption of electricity, fuel. The desire of drivers to save energy or diminish fuel consumption leads to a decrease in speed of freight trains.

Any decrease in train speed in comparison with estimated speed for a given section, and even more an interruption in traffic, lead to losses in the use of capacity and, accordingly, to economic losses. Delays of trains on hauls are caused by out-of-sync train movement, untimely switching of opening signals at stations, malfunctions of rolling stock and technical devices, oversaturation of sections with trains, speed limit warnings and overpassing by delayed passenger trains.

If train traffic is out of sync, the trains go, instead of the green one, at the yellow, and often at the red light of the traffic light. So, if a pack of trains runs with six-minute inter-train intervals and one of the locomotives reduces speed against the average schedule by only 5 km/h, the train following it will approach a traffic light at a yellow light in 1,5 minutes. The lack of synchronisation is explained by the fact that train drivers use the train schedule, which indicates only travel time per stages.

The speed on various elements of track profile is determined expertly, the choice of the mode of movement largely depends on skills of drivers.

According to some estimations, train delays due to untimely reception by technical stations constitute about 1 million train hours per year, and there are also great delays in front of connecting points due to untimely reception of trains by neighbouring railroads and their operating divisions.

Train delays in case of malfunctions of cars, locomotives, track, signalling and communication devices, contact network, etc. are influenced by traffic communication means, the number of main tracks, the type of traction, the inter-train interval, and the number of passenger trains. Failures in operation of technical devices reduce the available transit capacity of sections by up to 15 %.

The increase in density of train traffic leads to an increase in the number of trains going forward at the yellow and red traffic lights, and this causes a decrease in running speed and an increase in delay time of trains on stages.

Analysis of speed meters' records allows establishing the mode of train movement on the section at different density and intensity of train traffic, ratio of different readings of traffic lights and of automatic locomotive signalling system of continuous operation (ALSN) and speed of movement on them, as well as setting technical and section speeds of freight trains. The readings of speed gauge tapes can be used both independently and as initial information for simulating movement of trains on the section. In the latter case, in contrast to the results of traction calculations, the human factor is considered (driver's influence on the mode of train driving).

To compare records of train speed, obtained using traction calculations and speed meters' tapes, it is advisable to use their ratio when trains are going at different traffic lights or at different ALSN readings.

$\frac{v_g}{v_e}, \frac{v_y}{v_e}, \frac{v_{ry}}{v_e}$ is the ratio of actual and

estimated train speed, respectively, when going at green, yellow and after passing at yellow light of the track traffic light (Pics. 7, 8).

On different sections, different drivers implement permissible train speeds in different ways. But while the specific values of train

speed differ, their distributions and ratios have a general form (Pics. 7, 8). The general pattern was that trains were going at green traffic light on one half of the block sections at a speed 20–25 % lower than the estimated one and on the other half of block sections they were going at a speed almost two times less than that obtained by traction calculations. On the second half of the block sections, such a decrease in speed is associated with the presence of speed limits and consequent acceleration after passing them, which was carried out more slowly compared to the estimated mode. The decrease in ratio values $\frac{v_y}{v_e}$ is explained by the speed limit set on

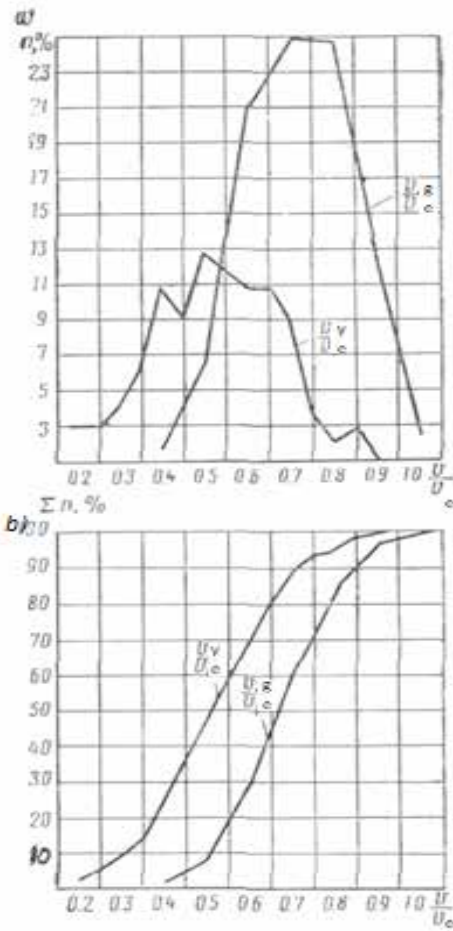
railways when going at yellow traffic light and by premature low effective braking. Moreover, in 75 % of cases, when trains were going at a yellow light, the traffic light indication turned to a green indication and there might be no registered braking at all.

The actual train speeds were considered in relation to speeds obtained by traction calculations. But the standard traffic schedules use speeds that are below the estimated ones. On the considered electrified sections, the traffic schedule provides for running speed of freight trains $v_{fr} = 57,7$ km/h that is lower than the estimated one by 8,7 km/h. Therefore, the ratio of speeds v_g, v_y and v_{ry} to the standard running speed stipulated in the schedule is 66,4: 57,7 = 1,15 times (Table 2). When trains are going at green traffic light, running speed is 20 % lower than the estimated one, and the scheduled speed is 8 % lower. Trains move at yellow traffic light at a running speed, respectively, 46 and 38 % lower. After passing the traffic lights at yellow light, it is 63 % lower.

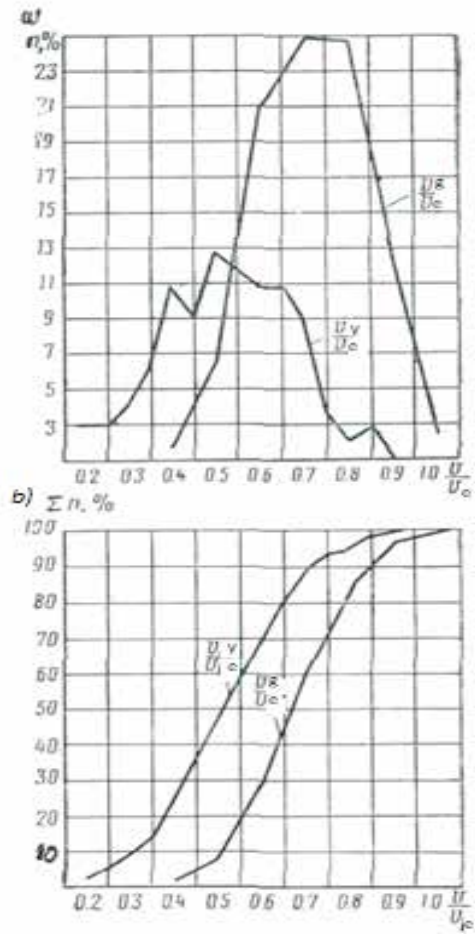
The results obtained on the sections with diesel traction are shown in Table 3. The difference in ratios of speeds in odd (loaded) and even (empty) directions is explained by the weight of empty trains which is almost half lower, slow acceleration of loaded trains after passing sections with speed limits and higher speeds of empty trains at green and yellow traffic lights.

The ratio of actual speeds of train movement to the estimated ones when trains pass through intermediate stations along the main track, when there is a green light at the entrance and exit





Pic. 7. Differential (a) and integral (b) curves of distribution of speeds when trains move at different lights on an electrified section.



Pic. 8. Differential (a) and integral (b) curves of distribution of speeds when trains move at different traffic lights on a section with diesel traction.

traffic lights, on electrified lines is on average 0,78, on sections with diesel traction it is 0,75, which is 7–8 % or 5–6 km/h lower than on stages.

The actual number of speed limit warnings on many sections of the network is greater than their number provided for by the schedule. The total distance travelled by a train with a speed limit v_{lim} is equal to the sum of the distance along which warning is effective l_{warn} , train length l_{tr} and the distance travelled at a reduced speed v_{lim} , considering deceleration and acceleration of a train before and after the location where speed is limited. The actual distance travelled by a train with a reduced speed is on average 2,5 times more than the length of the track where the limit warning is valid. Analysis of speedometers' tapes showed that the actual speed is lower than the speed set by the speed limit warning on average by 20–25 %. The number of trains affected by

the speed limit when approaching to the area of its action:

$$N = \frac{(v_{av} - v_{lim}) l_{lim}}{v_{lim} (v_{av} I - l_{tr} - p L_{b-s})} - 1,$$

where v_{av} – average train speed, km/h;

I – inter-train interval, h;

p – minimum number of block sections that delimit trains so that with this number stable movement at a green traffic light is ensured (for a three-digit automatic interlocking $p = 3$);

L_{b-s} – average length of a block section, km.

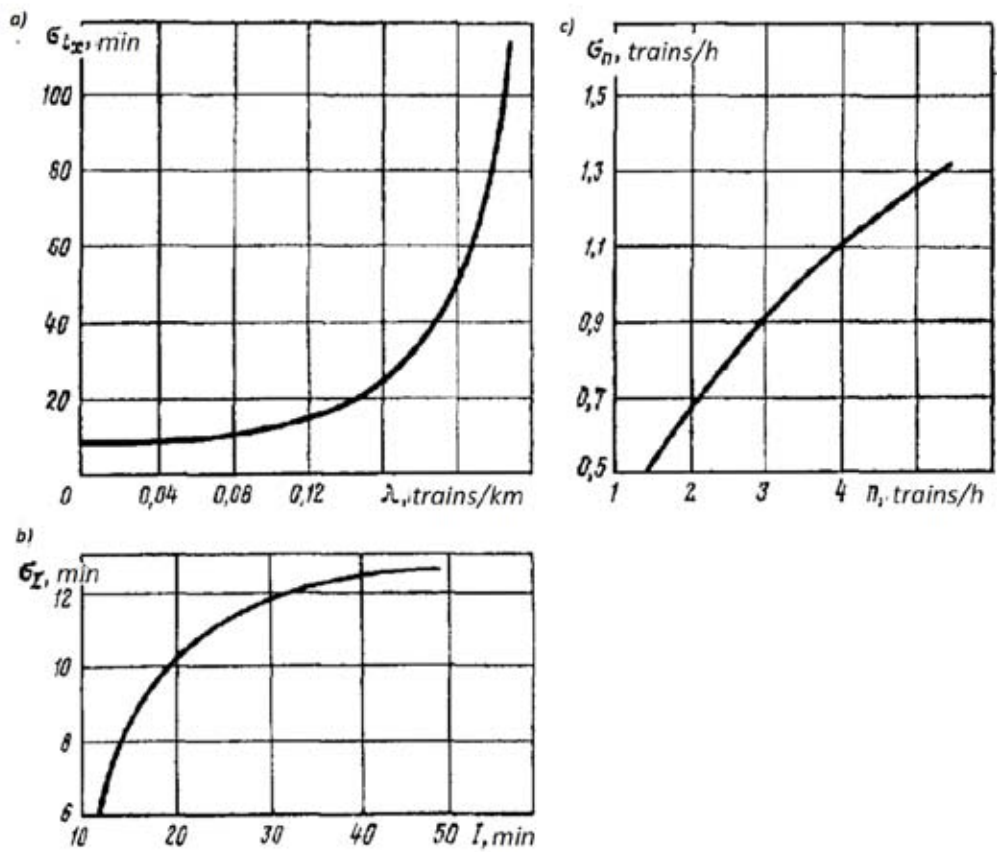
The actual train speed in areas where warnings are in effect is by 2,7 ÷ 5,6 km/h less than set by the speed limits.

Studies have shown that an increase in density of the train flow leads to an increase in average time needed for them to pass through the section. For the scattering estimate (absolute

Table 2

Ratio of actual speeds to the estimated and scheduled ones on electrified sections

| Automatic interlocking signals | Number of cases | $\frac{v}{v_e}$ | $\frac{v}{v_{fr}}$ |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| At green traffic light | 1795 | 0,80 | 0,92 |
| At yellow traffic light | 543 | 0,54 | 0,62 |
| After passing at yellow traffic light | 125 | 0,32 | 0,37 |



Pic. 9. Dependence of the standard deviation of train travel time on flow density (a), inter-train interval (b) and train traffic intensity (c).

Table 3

The ratio of actual speeds to the estimated and scheduled ones on sections with diesel traction

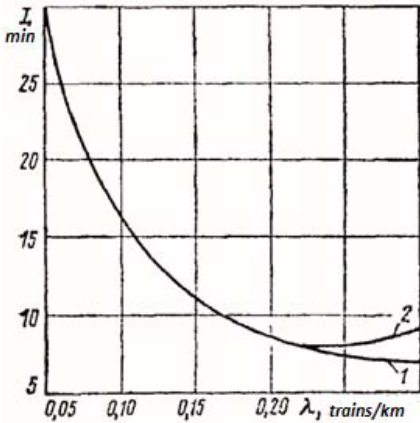
| Automatic interlocking signals | Odd direction | | Even direction | |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | Number of cases | $\frac{v}{v_e}$ | Number of cases | $\frac{v}{v_{fr}}$ |
| At green traffic light | 1060 | 0,77 | 778 | 0,85 |
| At yellow traffic light | 140 | 0,55 | 77 | 0,67 |
| After passing at yellow traffic light | — | — | 29 | 0,46 |



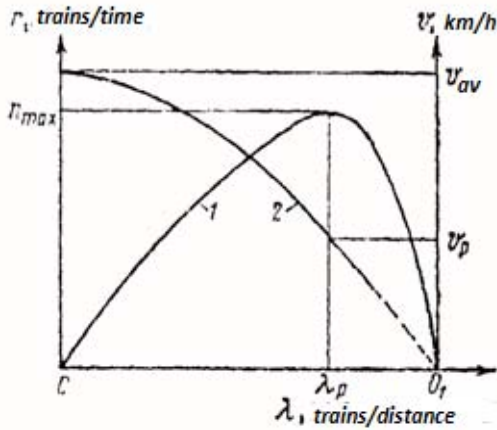
Table 4

Change in train speed depending on the distance between trains

| Space interval between trains | Ratio $S_1 : S$ with the length of block sections, km | | | Speed v_1 , km/h | |
|-------------------------------|---|------|------|--------------------|------|
| | 1,5 | 2,0 | 2,5 | | |
| $3 \cdot l_{bl}$ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 80 | 70 |
| $2,75 \cdot l_{bl}$ | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 73,6 | 64,4 |
| $2,50 \cdot l_{bl}$ | 0,83 | 0,83 | 0,83 | 66,4 | 58,1 |
| $2,25 \cdot l_{bl}$ | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 60,0 | 52,5 |
| $2 \cdot l_{bl}$ | 0,67 | 0,67 | 0,67 | 53,6 | 46,9 |



Pic. 10. Influence of train flow density on average interval between trains at the entrance (1) and the exit (2) from the section.



Pic. 11. Diagram of train flow: 1 – $n(\lambda)$; 2 – $v(\lambda)$.

dimensions of fluctuations) to have the dimension of a random variable, we use the root-mean-square deviation and calculate its values for train travel time along the section (Pic. 9a), inter-train intervals (Pic. 9b) and train traffic intensity (Pic. 9c).

The presence of scattering of possible values around the average value of the train flow characteristics indicates non-synchronisation of train movement, which is present even with free movement of a single train and increases with growing load at the section. Asynchronous movement causes such an influence of trains on each other that the average actual inter-train interval is greater than the calculated one and the traffic flow of trains at the exit from the section is less than at the entrance.

When trains approach each other, their estimated speed v decreases to v_1 and the use of transit capacity decreases. In this case:

$\frac{Tv}{60S} = \frac{Tv_1}{60S_1}$, hence $\frac{v_1}{v} = \frac{S_1}{S}$ and $v_1 = \frac{S_1}{S} \cdot v$.

To prevent a decrease in the use of transit capacity, trains' speed can be reduced in proportion to reduction in the distance between trains (Table 4).

When the inter-train interval is reduced by half of the length of block section, speed decreases by 11,9–13,6 km/h as compared with estimated standard value and so constitutes 0,83 of the estimated one. Further reduction of the inter-train interval to $S_1 = 2l_{bl}$, when the train goes at the yellow traffic light, makes speed be equal to 0,67 of the estimated one. The analysis of speed gauge tapes confirmed that with an increase in density of the train traffic, speed decreases significantly. This speed reduction decreases the use of transit capacity to n_1 , then:

$\frac{n_1}{n} = \frac{60Tv_1S}{60TvS_1} = \frac{v_1S}{vS_1}$.

The reduction in the use of transit capacity with v_1 and S_1 is determined by:

$\Delta n = \left(1 - \frac{v_1S}{vS_1}\right) 100\%$.

Studies of the sequential increase in the traffic intensity on the section have shown that with an increase in saturation of the section with trains, their influence on each other increases, and they more often pass at yellow and red traffic signals. As a result, train speed decreases. Time of

occupation by trains of block sections increases, queueing to pass through the section appears and increases.

Simulation of train traffic has established that an increase in the flow density causes a difference in intervals between trains at the entrance and exit from the section (Pic. 10).

Graphs of dependences $n(\lambda)$ and $v(\lambda)$ of changes in the flow intensity and in speed on density are presented in the train flow diagram (Pic. 11). It shows many properties of the traffic flow, especially the space-time relationships and the possibility of interference with train traffic.

At points 0 and 0_p, the traffic intensity is zero, i.e., there is essentially no movement, or the flow of trains is in a state of congestion (immobility). As the train flow's density increases, its speed decreases, high speed values can be obtained only at low density values, i.e., under the conditions of relatively free movement of trains. This is of great practical importance. When standardising the performance indicators, during operational planning and regulation of train traffic, it should be borne in mind that an increase in the flow density (traffic size) causes a decrease in speed of trains, and if the sections are oversaturated with trains, it also results in decrease of the use of available transit capacity.

INTERACTION OF SPEED WITH OTHER INDICATORS OF TRAIN FLOW

Based on the main characteristics of the train flow, the transit capacity of the section can be described by the formula:

$$n = \lambda v, \quad (1)$$

where n – traffic intensity, trains/h;

λ – flow density, trains/km;

v – speed of trains, km/h.

If two of these three variables are known, then the third is uniquely determined. Among the variables under consideration, there is no one that depends on only one parameter. However, since intensity is a quantitative characteristic of the transportation process, and speed reflects the level of technical equipment of sections and development of rolling stock, then they should be considered as independent variables, and the density should be deemed dependent variable. Ratio (1) can be visualised as a surface in three-dimensional space. In addition to the already listed average values, determination of the fol-

lowing values is of great practical and theoretical importance:

n_{\max} – maximum traffic intensity;

v_{free} – speed of trains in free conditions (in accordance with traction calculations or traffic schedule);

v_p – speed, at which traffic intensity is maximum ($n = n_{\max}$);

λ_{\max} – maximum density, at which train movement is impossible ($v > 0$);

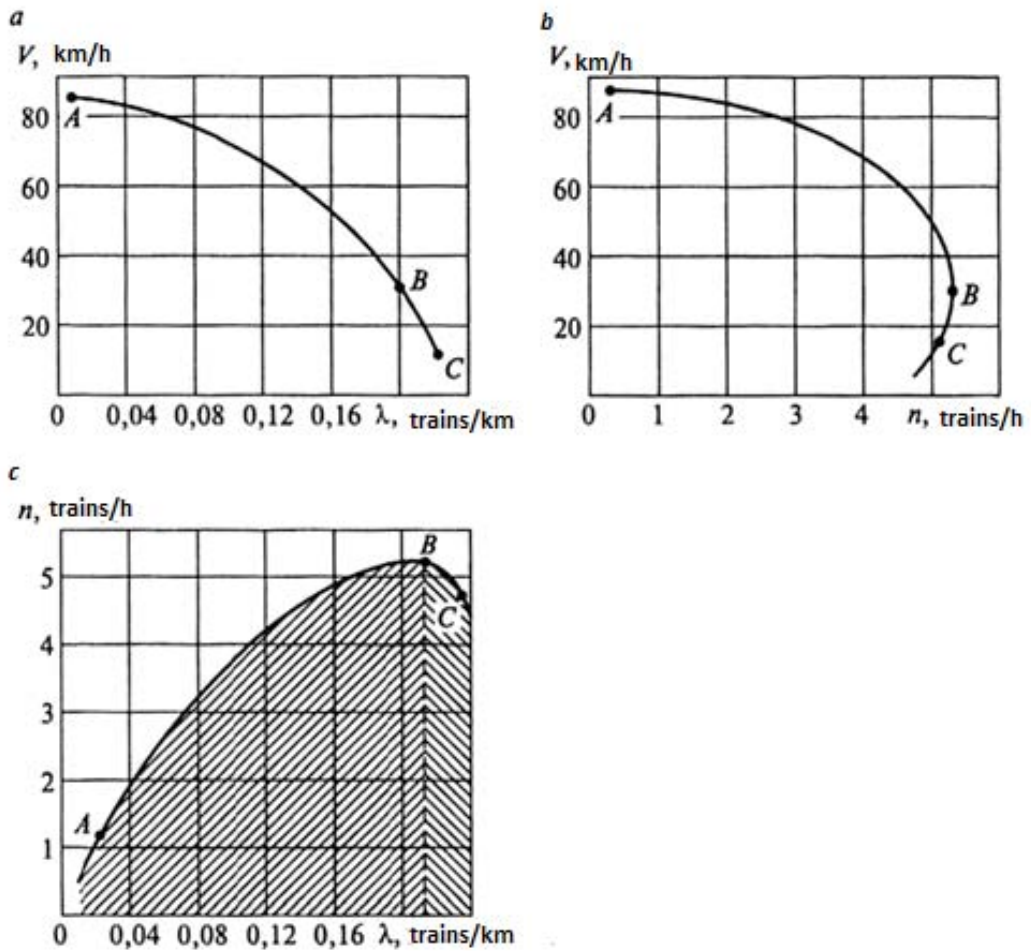
λ_p – density, at which traffic intensity is maximum ($n = n_{\max}$).

The intensity-density relationship (Pic. 12) is the main train flow diagram. With an increase in the train flow density, the intensity increases to the maximum value n_{\max} corresponding to the available transit capacity of a section (point *B*). Starting from this point, an increase in intensity at the entrance of the section does not lead to its increase at the exit, as evidenced by a decrease in intensity with a further increase in flow density. The vertical dashed line drawn from point *B*, as it were, separates the conditions of train traffic without delays (left) and with delays (right). Point *A* is typical for free conditions of train traffic without delays. Point *C* is within the area of traffic conditions with delays and shows that the same intensity can be achieved with a much lower flow density (0,16 trains/km), i.e., an excess in the working fleet of wagons does not lead to an increase in quantitative indicators, but, on the contrary, reduces them and worsens qualitative indicators of operational work. If on a specific section (Pic. 12) it is necessary to increase intensity, then density of the train flow should be increased to 0,214 trains/km.

To characterise the use of the section's capacity, we will use the load rate, which represents the ratio of the achieved traffic intensity n to the maximum traffic intensity n_{\max} of the section, i.e., $\gamma = n/n_{\max}$. With the help of this concept, it is possible to obtain comparable characteristics of the flow of trains on different sections, since γ is a dimensionless quantity and can take any values from 0 to 1.

Depending on the flow speed and its density (see Pic. 12), the initial section of the curve corresponds to free movement of trains. With an increase in flow density, speed of movement decreases due to a decrease in average inter-train interval and an increase in influence of trains on each other. Point *A* corresponds to the speed of movement v_{free} in free conditions. This speed is determined by traction calculations. The depen-





Pic. 12. Dependence between speed of train flow, traffic intensity and density.

dence does not cross the vertical axis but approaches it asymptotically. The qualitative state of the train flow can be characterised using the concepts of the speed coefficient and the rate of saturation of the section with trains.

The coefficient of speed u is the ratio of the maximum permissible speed v_{per} at the achieved density to speed of free movement v_{free} :

$$u = v_{\text{per}} / v_{\text{free}}.$$

The coefficient of speed allows to evaluate the effect of different flow densities on speed. The quantity u is dimensionless and can take any values in the range from 1 to 0.

The saturation rate of the section is the ratio of the flow density at various traffic sizes λ_{traf} to the maximum density λ_{max} :

$$\varsigma = \lambda_{\text{traf}} / \lambda_{\text{max}}.$$

As intensity increases to the maximum value n_{max} corresponding to point B, speed decreases (see Pic. 12). The part of the curve located above

point B corresponds to normal traffic conditions without train delays, the lower part of the curve corresponds to traffic conditions with delays. Points A and C on «speed–intensity» curve correspond to similar points on «intensity–density» curve. Dependencies in Pic. 12 are obtained based on computer simulation of train traffic.

The most important characteristic of the sections is the maximum train traffic intensity (transit capacity). The satisfaction of the needs of cargo owners and the population in transportation of goods and passengers largely depends on the use of capacity and optimisation of its development.

Density of the flow of trains can be taken as hourly, daily, monthly, annual and for the corresponding period capacity will be obtained, but formula (1) is correct only with a small load of the section by trains. Since an increase in density of the flow of trains leads to a decrease in

speed of movement, the correct functional form of expression (1) will be:

$$n(\lambda) = \lambda v(\lambda). \tag{2}$$

Train speed is distributed within a certain range (see Pic. 13), therefore it is advisable to determine two types of average speeds (spatial and temporal) and, accordingly, two density distributions of speed v .

The spatial density of distribution of speeds $f_s(v)$ is determined for trains occupying the section at a given moment of time, the temporal density of distribution of speeds $f_t(v)$ – for trains passing a given point of the section during a given time interval. Then the average spatial and temporal speeds are:

- for double-track sections:

$$\overline{v}_s = \int_0^{v_{\max}} v f_s(v) dv ; \tag{3}$$

$$\overline{v}_t = \int_0^{v_{\max}} v f_t(v) dv ; \tag{4}$$

- for single-track sections:

$$\overline{v}_s = \int_0^{v_{\max}} |v| f_s(v) dv ; \tag{5}$$

$$\overline{v}_t = \int_0^{v_{\max}} |v| f_t(v) dv . \tag{6}$$

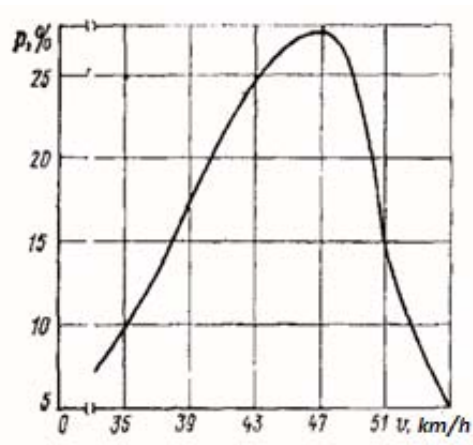
In formulas (3) and (4), the lower limit is assumed to be zero since there is no oncoming traffic along each separate track of a double-track section. The lower limit in formulas (5) and (6) shows that on single-track sections, trains move both in forward and backward directions.

For the theory of train flows, harmonic average speeds \overline{v}_s and \overline{v}_t , based on the corresponding distribution densities, are of interest; for example, for a double track section:

$$\overline{v}_s = \frac{1}{\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_s(v) dv} ; \tag{7}$$

$$\overline{v}_t = \frac{1}{\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_t(v) dv} . \tag{8}$$

The necessity of using harmonic average speed in some cases will be illustrated by a simple example, which shows what difficulties arise when considering the flow of trains. Let us assume that three trains have covered a 10 km stage at speeds of 40, 50 and 60 km/h respectively. Obviously, average speed is 50 km/h. Similarly, the average travel time is 0,206 h. However, these values (10 km, 50 km/h, 0,206 h) do not satisfy the equation $s = vt$.



Pic. 13. Distribution of running speed of train movement on the section.

The reason is that this equation is valid for mean values only if the harmonic mean is taken for speed, and the arithmetic mean is taken for time, or vice versa. Here, as above, it is assumed that the flow of trains is stationary and that speed of each train is constant during the time interval that determines average temporal speed, or along the section that determines average spatial speed.

Let $\lambda_v dv$ and $n_v dv$ represent, respectively, the differentials of density and traffic intensity of trains which speed lies in the range between v and $v + dv$. Then the following expressions for distribution densities $f_s(v)$ and $f_t(v)$ are valid:

$$f_s(v) dv = \lambda_v dv / \lambda ; \tag{9}$$

$$f_t(v) dv = n_v dv / n , \tag{10}$$

where λ and n are, respectively, density and intensity of the train flow.

From the expression (1) it follows that $n_v = v \lambda_v$.

Using this expression, we get from formulas (4) and (5):

$$n f_t(v) = v \lambda f_s(v) . \tag{11}$$

$$\text{Then } \overline{v}_s = \int_0^{\infty} v f_s(v) dv = n / \lambda , \text{ since } \int_0^{\infty} f_t(v) dv = 1 .$$

$$\text{As a result:} \tag{12}$$

$$n = \lambda \overline{v}_s .$$

Thus, equation (1) is valid for average spatial speed \overline{v}_s , even if train speeds are not the same, but are random variables with an arbitrary probability distribution. On the other hand, by substituting equations (12) and (11), we find that:

$$f_t(v) = f_s(v) v / \overline{v}_s . \tag{13}$$



Equation (13) describes the dependence between spatial and temporal speed distribution densities. By dividing by v and integrating both sides of equation (13), we obtain:

$$\int_0^{\infty} \frac{1}{v} f_t(v) dv = \frac{1}{v_s} \int_0^{\infty} f_s(v) dv = \frac{1}{v_s}.$$

Returning then to equation (8), we notice that $v_t = v_s$. Thus, average spatial speed is equal to average harmonic temporal speed.

Then we consider the relationship between \bar{v}_t and \bar{v}_s . Let's substitute equation (13) in (4):

$$\bar{v}_t = \int_0^{\infty} v^2 f_s(v) dv / \bar{v}_s.$$

If we determine dispersion of average spatial speed as:

$$\sigma_s^2 = \int_0^{\infty} (v - \bar{v}_s)^2 f_s(v) dv = \int_0^{\infty} v^2 f_s(v) dv - \bar{v}_s^2,$$

then we get:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s \left[1 + (\sigma_s / \bar{v}_s)^2 \right].$$

Thus, for large values of σ_s , the difference between average spatial and average temporal speeds also becomes large.

SUMMARY

The widespread practices of changing only a single component shows that in a dynamic and internally connected complex system of railway transport, this results in a change in many other components. The results of the study of interaction of train speed with other indicators of the transportation process have confirmed this statement.

REFERENCES

1. Andriyanov, E. A. Delivery speed as a competitive advantage [*Skorost' dostavki kak konkurentnoe preimushchestvo*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 13–14.
2. Levin, D. Yu. System management of the railway transportation process: Monograph [*Sistemnoe upravlenie perevozochnym protsessom na zheleznodorozhnom transporte: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2018, 313 p.
3. Sharapov, S. N. Economic assessment of increasing the governed speeds of movement of freight trains [*Ekonomicheskaya otsenka povysheniya ustanovlennykh skorostei dvizheniya gruzovykh poezdov*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 25–29.
4. Shcheglovitov, V. N. The theory of the train schedule in connection with the question of trains [*Teoriya grafika dvizheniya poezdov v svyazi s voprosom o sostavakh*]. Warsaw, 1909, 410 p.
5. Vasiliev, I. I. On the issue of the most beneficial ratios of operational and technical elements of train movement [*K voprosu o naivnygodneishikh sootnosheniyyakh ekspluatatsionnykh i tekhnicheskikh elementov dvizheniya poezda*]. *Proceedings of MIIT*. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1927, Iss. V.
6. Babichkov, A. M., Egorchenko, V. F. Train traction [*Tyaga poezdov*]. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1955, 356 p.
7. Orlov, V. N., Povorozhenko, V. V. Technical and economic calculations for organisation of railway transportation [*Tekhniko-ekonomicheskie raschety po organizatsii zheleznodorozhnykh perevozok*]. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1943, 282 p.
8. Ionnisyan, A. I. On the issue of the choice of speed of movement of freight trains on the ruling gradient of single-track lines using steam traction [*K voprosu o vybere skorosti dvizheniya tovarnykh poezdov na rukovodyashchem pod 'eme odnopusnykh liniy pri parovoi tyage*]. *Proceedings of MIIT*. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1948, Iss. 78.
9. Gibshman, A. E. Issues of the economy of railway transport. Operational and economic substantiation of the choice of parameters for promising steam locomotives [*Voprosy ekonomiki zheleznodorozhnogo transporta. Ekspluatatsionno-ekonomicheskoe obosnovanie vybora parametrov perspektivnykh parovozov*]. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1948, 154 p.
10. Rules of traction calculations for train operation [*Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoi raboty*]. Moscow, Transport publ., 1985, 287 p.
11. Peysakhzon, B. E. Weight and speed of freight trains [*Ves i skorost' gruzovykh poezdov*]. *Proceedings of VNIIZhT*. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1957, Iss. 141, 202 p.
12. Macheret, D. A., Ryshkov, A. V., Valeev, N. A. [et al]. Management of the economic efficiency of railway transport using innovative approaches [*Upravlenie ekonomicheskoi effektivnost'yu ekspluatatsionnoi deyatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta s ispolzovaniem innovatsionnykh podkhodov*]. Ed. by Macheret, D. A., Ryshkov, A. V. Moscow, Rior publ., 2018, 212 p.
13. Vinogradov, S. A., Novgorodtseva, A. V. On influence of speed of freight trains on operational indicators [*O vliyaniy skorosti dvizheniya gruzovykh poezdov na ekspluatatsionnie pokazateli*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 15–18.
14. Anisimov, V. A., Osminin, A. T., Anisimov, V. V. The concept of increasing permissible speeds of train movement within the framework of polygon technologies [*Kontseptsiya povysheniya dopuskaemykh skorostei dvizheniya poezdov v ramkakh poligonnykh tekhnologii*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 19–25.
15. Zhelezov, D. V., Mitrofanov, A. N., Mitrofanova, N. V. Based on identification and forecasting techniques [*Na osnove metodiki identifikatsii i prognozirovaniya*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 36–41.
16. Zubkov, V. N., Ryazanov, E. V., Chebotareva, E. A. Train speed as an indicator of quality of passenger and cargo transportation [*Skorost' dvizheniya poezdov – indikator kachestva perevozok passazhirov i gruzov*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2017, Iss. 3, pp. 45–51.

Information about the author:

Levin, Dmitry Yu., D.Sc. (Eng), Main Expert of Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation (JSC NIIAS), Moscow, Russia, levindu@yandex.ru.

Article received 10.10.2019, approved 20.09.2021, accepted 04.10.2021.



HISTORY WITH A SEQUEL

Both papers under the History Wheel heading are first parts of publications to be continued in the next issue.

INLAND INFRASTRUCTURE 218

The first part of the published article deals with the birth of the man-created road infrastructure created and the first vehicles. Despite the fact that the journal has repeatedly published materials on the evolution of transport, the topic is inexhaustible, and each author finds in it his own special attractive features and curious facts.

HISTORY WHEEL



HOW THEY DID CONCEIVE BETTER MANAGEMENT OF RAILWAYS: 110 YEARS AGO

228

First part of the report of a prominent expert in the Imperial Russian Technical Society made in 1910. This fragment pays main attention to employment issues, namely, in modern terms, to development of human resources and to comprehensive social and staffing policy of railways. Then as now, it was evident that skilled and motivated employees ensure the success of transport activity.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-11>

The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 1

**Aleksey D. Razuvaev***Russian University of Transport, Moscow, Russia.*✉ razuvaevalex@yandex.ru.**Aleksey D. RAZUVAEV****ABSTRACT**

The article, consisting of two parts, studies historical and economic aspects, physical infrastructure and technological basis of emergence, formation, and evolutionary development of inland transport infrastructure. In contrast to water and air transport, land transport, due to its linkage to a certain territory, developed in a very restrained and nonlinear manner. Its infrastructure, represented by the simplest paths and roads, of course, played a certain economic role, but until 18th–19th centuries was not considered as the basis for regular advance and exchange of goods. In different parts of the world, the infrastructure of land transport developed differently which was largely due to the prevailing socio-economic institutions.

For many centuries, the technical condition of the inland transport infrastructure and its economic importance have not

undergone any significant changes. Therefore, the end of the medieval era and a significant breakthrough in development of land transport are interdependent processes. The emergence of an era of economic growth, including development of international trade and an increase in social welfare, would not have been possible without a well-functioning land transport system. Nevertheless, land transport until the beginning of 19th century was not associated with a reliable, fast, and regular medium of exchange and travel. Only with the advent of railways the situation changed radically. Paved roads were also developing. From this moment land transport and its infrastructure has become the basis of the dynamic economic activity of society.

Keywords: land transport, railways, railway infrastructure, socio-economic development, economic history, historical analysis.

For citation: Razuvaev, A. D. The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 1. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 218–227. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-11>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

Birth of Formation of Land Transport Infrastructure

The land transport infrastructure has been known since ancient times. A trail or dirt road is the simplest object of transport infrastructure. Over the course of several thousand years, roads have evolved significantly, turning into sophisticated engineering systems that are arteries for trade and movement of people. The economic significance of land transport is very high since penetrating to any point on the continent, it «compresses» distances and creates the most favourable conditions for exchanges and division of labour. Land transport and its infrastructure are also unique in that they must compete with other modes of transport, which are water and air ones, in unequal conditions since they need to create an artificial route. It is one of the reasons why, until 18th–19th centuries, transportation by land was a daunting task. Only with the advent of vehicles running on rails (railways) land transport was able to compete with water transport and became the main catalyst for the era of modern economic growth.

Indeed, it is worth noting that since ancient civilisations, in Mesoamerica, on the Mayan lands, there was an extensive road network – *sakbé* («white road», a stone-paved road) (Pic. 1). Its development attracted special attention

despite the dominance water transportation and the absence of draft animals [1].

Similarly, development of roads took place in the early period of the existence of the Andean civilisation, in 1st–2nd centuries B.C. Then the well-being and socio-economic status of the province depended on availability of a road [2, p. 261]. By the middle of the 1st millennium A.D. a network of main routes had been developed in the Andes. It was not the network of trails but of well-maintained roads equipped with caravan terminals, along which caravans of many hundreds of lamas were driven. Due to this, the Andean civilisation developed specialisation and settlements arose [3].

The longest of the Inca roads was over 5 thousand km. This is twice the length of the famous Royal Road, the main land route of the Persian Empire. According to some estimates, the total length of the improved paths of the Incas reached 30 thousand km. This means that the provision of both the territory and the population with inland infrastructure then exceeded the level of the Roman Empire, which can be considered the standard of transport development (especially of land transport) in the Ancient world. And in Europe at the time of the Inca Empire, there were no roads that would have been close in terms of improvement to the Inca ones. In many ways,



Pic. 1. Sakbé. A stone-paved road. (*Sakbe* – mysterious ancient maya roads. [Electronic resource]: <https://zen.yandex.ru/media/chronoton/sakbe-zagadochnye-drevnie-dorogi-maiia-5df0b53eb477bf00af8391ef>. Last accessed 11.06.2021).





Pic. 2. A section of the Royal Road that has survived to this day. (Persian state: history of origin, life and culture. [Electronic resource]: <https://autogear.ru/article/165473/persidskaya-derjava-istoriya-vozniknoveniya-byit-i-kultura>. Last accessed 11.06.2021).

an extensive network of roads contributed to unification and unity of the Inca Empire [2, p. 263; 4].

The Assyrian and Persian empires carried out a large-scale arrangement of overland transport ways in the East [5].

The Persian Empire, which united almost the entire Ancient East, created a unique road network. Improved roads crossed the country in different directions. The previously mentioned Royal Road had a length of almost 2 thousand km (Pic. 2).

The Greeks also had good roads, which served, however, mainly to get to the sacred places. The experience of Greece in creation of track ways is noteworthy. The most famous is the diolkos, a track portage road along the Corinth Canal (Pic. 3). Also, in Ancient Greece, the track was used for various needs, when there was a need to transport heavy loads over a short distance¹ [6, p. 9; 7].

The Roman state (in the republic, and then in the Empire), which became the successor of the Hellenistic world in the Mediterranean, created a powerful road network, which, as in the Persian Empire, was primarily of military-strategic importance, but, naturally, facilitated trade relations and travelling [8–10].

¹ Track roads of Ancient Greece. [Electronic resource]: <https://aldanov.livejournal.com/364552.html>. Last accessed 11.06.2021.

We can say that the Roman state developed together with the development of the road network. The first ancient Roman paved road, Appian Way, 62 km long, was built at the end of 4th century B.C. (Pic. 4).

Five centuries later, during the period of the mighty power of the Roman state, which had already become an Empire and subjugated not only the entire Mediterranean region, but also several remote lands, there were 372 stone-paved roads with a total length of about 80 thousand km. These roads were built in a straight line, drainage ditches were dug on their sides, bridges were thrown across rivers and ravines, some of which have survived to our time.

The zeal of the Roman Empire in road construction was very significant and was supported by various social institutions and advanced engineering thought [11, p. 179–180]: «Roads in ancient societies were most often ground-coated, and at different times of the year they turned into swampy ditches or dusty paths. The Romans, starting with the Via Appia from Rome to Capua in 312 B.C., put a tremendous amount of work and organisational effort into creating an extensive paved road network. Perfect Roman viae² consisted of layers of gravelly concrete, cobblestones, or mortar-anchored stone slabs. By the reign of Diocletian (285–305), the Roman road system

² Roads (lat.).



*Pic. 3. Groove for transporting heavy loads (Diolkos.
[Electronic resource]: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Диолк>. Last accessed 11.06.2021).*



*Pic. 4. Section of the Appian Way (modern view). (Appian Way. [Electronic resource]:
<https://a-dedushkin.livejournal.com/630813.html/>. Last accessed 11.06.2021).*





Pic. 5. Artistic illustration of the technology of building Roman roads with layer-by-layer detailing of masonry (How Roman roads were built. [Electronic resource]: https://pikabu.ru/story/kak_stroilis_rimskie_dorogi_5870592. Last accessed 11.06.2021).

(*cursus publicus*) had grown to 85 thousand kilometres. <...> In Western Europe, Roman achievements in road construction were surpassed only in 19th century, and in the eastern regions of the continent – only in 20th» (Pic. 5).

Labour costs for construction of Roman roads are analysed in detail in [11, p. 180]. It provides data that, based on the need for building materials and labour costs for construction of the road, an amount of 1,2 billion workdays can be obtained (this amount is made up of the following boundary conditions: with a roadway width equal to 5 m and a depth equal to 1 m, as well as a length of ~85 thousand km, the initial earthwork is taken equal to 800 Mm³, and the subsequent work on displacement of building material are considered equal to 425 Mm³. If a single worker copes with 1 m³ of material per day, a total value of 1,2 billion workdays is obtained). Even if continuous maintenance and repair of roads will triple this figure, its proportional distribution over 600 years of construction will result in an annual average value of about 6 million workdays, which is the equivalent to work of 20 thousand builders (with an approximate number of 300 working days per year).

Roman roads, given the scale of construction, the cost of energy, time, material and labour, can be safely attributed to one of the wonders of the world. The speed of movement along them and the volume of transportation by land were at that time the most developed, given that the speed of information transfer from Antiquity to the end of

the Middle Ages was almost unchanged and amounted to about 1 mile per hour [12, p. 253].

Then long distances were covered by messengers on fastest horses: the recorded maximum for Roman roads was about 380 km/day [11, p. 180].

Freight transportation by land was poorly developed. The low speeds and small capacity of land transport led to high costs. In 301, transporting grain for 120 km by road costed more than transporting it by ship from Egypt to Ostia, the sea gate of the Roman Empire [11, p. 182].

On the territory of the Muslim world, there was nothing comparable to Roman roads, although communications were intense. Cities and countries far removed from each other were connected by caravan routes and ways, which were technically just paths [11, p. 180].

The work [11, p. 181] noted about the previously mentioned history of creation of the road network of the Inca Empire, which had a considerable length, but on which wheeled transport was not used: «*The Incas, strengthening their Empire in 13th–14th centuries, built an impressive network of roads. <...> Their total length reached about 40 thousand kilometres, including 25 thousand kilometres of all-weather roads crossing drainage pipes and bridges and equipped with distance indicators. Of the two main royal roads, one, winding through the Andes, was paved with stones. Its width varied from 6 meters on river terraces to only 1,5 meters*

where it went over the rocks. The unpaved road near the coast was 5 meters wide. The roads of the Incas were not intended for wheeled transport, only caravans of people and pack lamas moved along them, carrying 30–50 kg of cargo per animal and passing less than 20 km/day». At the same time, K. Marx noted that «...in the kingdom of the Incas, the transport industry played an important role, although the social product was not circulated as a commodity, was not distributed through exchange trade» [13].

In China, during the reign of Qin and Han dynasties, an extensive system of roads with a total length of about 40 thousand kilometres was built. The Roman road network, created around the same time, had a greater length and road density per unit area, and had better pavement.

The infrastructure of land transport in the Middle Ages not only did not receive further development but was destroyed. The socio-economic processes taking place in Europe, in particular the raids of the powerful barbarian tribes and naturalisation of the economy, threw the infrastructure of the road network back to the period before the ancient era [8].

The first victims of the decline and collapse of the trading system of ancient times were Roman roads. At the same time, the medieval roads that appeared later, from a material point of view, were not so much roads as ways [14, p. 36].

The roads were practically not built or maintained [15]: *«Almost all land roads were unpaved, which made it extremely difficult or even impossible to use them during the spring and autumn muddy seasons. Moreover, they were often so narrow that two carts could not part. The surviving sections of the paved ancient Roman roads were often dismantled by the neighbouring residents to get stones for their needs»*.

«The medieval road was depressingly long and slow». Daily journeys *«varied depending on the nature of the terrain from 25 to 60 km»* [14, p. 166].

It was not possible to completely destroy the Roman road network, which is why Byzantium, which inherited the network of land roads and seaports from the Roman Empire, began to play a key role in trade between East and West.

The key event that determined formation of the modern infrastructure of land transport was creation of an artificial way, which later evolved into a railroad track.

Evolutionary Development of Land Transport Infrastructure

The development of the road network and of vehicles are closely related to each other, so closely that improvement of vehicles depends on the quality of the road surface, i.e., quality of the road infrastructure [16]. For example, in England during the reign of Charles I, movement of stagecoaches on public roads was prohibited for some time to protect them from deterioration. But there was also a stricter prohibition. The law limited the minimum width of the iron carriage cover (up to 40 mm). At the same time, broad-wheeled vehicles were even exempted from tax at the outposts [17, p. 232].

In terms of quality of pavements, France was in the lead just before the industrial revolution, introducing new types of paving and reducing tariffs for current maintenance. In the middle 17th century, special organisations for current maintenance of road surfaces began to appear in Great Britain: road trusts, the prototype of modern infrastructure companies. Before them, the maintenance of roads was carried out by the residents of the district where the road passed [17, p. 477].

The evolution of road paving in Great Britain made it possible in 1832 (just during the massive use of carriages) to increase the average speed to 15 km/h, and the London–Edinburgh route, which until 1776 had taken four days, could be overcome in 42,5 hours. D. L. Macadam's paving technology has become the most applicable in the world largely due to simple solutions and low construction costs (Pic. 6) [17, p. 480].

With the increase in traffic intensity, paved surfaces were replaced by asphalt concrete ones. In 17th and early 18th centuries, a railroad appeared in England, which, in its most primitive form, had existed at German mines already 30–60 years before. First, a guide pin was placed on the trolley, moving along the chute, and then wooden flanged wheels were used (Pics. 7, 8) [17, p. 233].

The British first used rails in 1597–1598 in coal mines. The trolley wheel was rolling in a groove along the slopes, according to the principle of movement along an antique track road, but then the shape of both the rail and the wheel changed. Originally the rails were made of wood. In 1767, the first metal rails were manufactured for a metallurgical plant in





Pic. 6. Country road built using Macadam's technology (Macadam. [Electronic resource]: <https://en.wikipedia.org/wiki/Macadam>. Last accessed 11.06.2021).

Coalbrookdale [17, p. 234]. Then, within ten years, wooden rails were replaced with iron ones within the entire factory rail system (its length was 16 miles, about 26 km).

The emergence of railways is due to two macro-inventions: smelting of relatively cheap cast iron and emergence of a steam engine [12, p. 253].

The world's first public railway with steam traction was built in England by George Stephenson in 1825, it ran between Stockton and Darlington³ [18]. On September 27, the steam «Lokomotiv» pulled a train of 34 cars, including 28 cars with 400 passengers, at a speed of up to 24 km/h. In 1830, according to Stephenson's project, Liverpool–Manchester railway with a length of about 50 km was built and put into operation [19, p. 28].

Speaking about the first railway lines, one cannot fail to note Middleton railway, the world's oldest public railway, operating without interruptions since 1758. It went all the way of early evolution – from horse tram and cast-iron rails to cogwheel rail and steam. Initially, it was operated as an industrial, and then as a commercial one⁴.

At that time, large-scale earthworks, drainage of swamps, the need to comply with a minimum longitudinal gradient and overcoming natural obstacles (rivers, gorges, mountains) became the

distinctive features of road (highway), and then railway construction. In this regard, starting from 18th century, bridge construction entered a new round of development. The bridges of Jean-Rodolphe Perrone (France), Robert Mylne, John Rennie, Abraham Darby, Thomas Telford (all Great Britain), Dmitry Zhuravsky (Russian Empire) are known [17, p. 498–508].

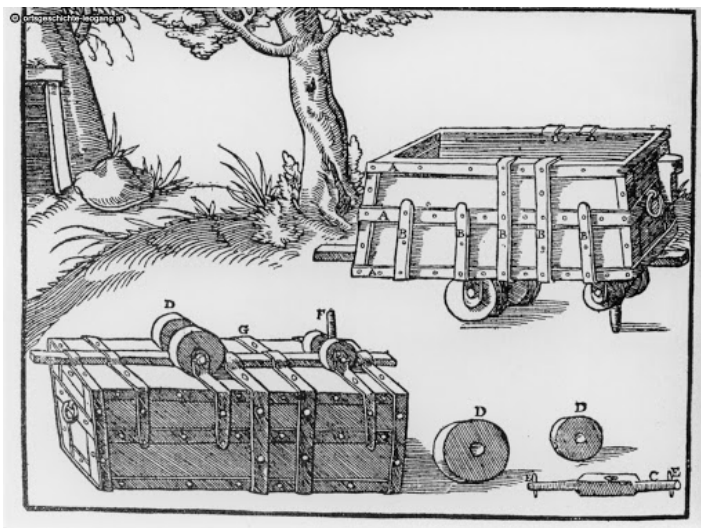
Tunnelling, previously actively used only for the mining industry, attained new level. In 1830, a tunnel section of the railway to Liverpool was built. Tunnels were laid under the Thames (Tower Tunnel, 1869), and in the Alps at the end of 19th century – the beginning of 20th century (Mont-Cenis, Saint Gotthard, Simplon) [17, p. 508–514].

Infrastructure restrictions remained in many countries until 18th century [11, p. 182]: «*For example, at the beginning of the century it was cheaper to deliver certain goods to England by sea from Europe than to bring them by land from remote regions of the country. Travelers described the condition of British roads as barbaric, disgusting, vile and hellish*».

The roads in continental Europe were no better. Fundamental improvements in road infrastructure did not begin until after 1750. At first, these included widening roads and ensuring good water drainage, and later – creating and strengthening the pavement with more durable materials (gravel, asphalt, concrete). By the middle of 19th century, the maximum cargo allowed for transportation in France increased to almost 1,4 tons, four times more than in Roman times [11, p. 182].

³ Stockton-Darlington railway. [Electronic resource]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Железная_дорога_Стоктон_—_Дарлингтон. Last accessed 11.06.2021.

⁴ Middleton railway. [Electronic resource]: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мидлтонская_железная_дорога. Last accessed 11.06.2021.



Pic. 7. Wooden trolley with a guiding axle pin. (Minecart. [Electronic resource]: <https://en.wikipedia.org/wiki/Minecart>. Last accessed 11.06.2021).



Pic. 8. Wooden trolley on wooden guides (beds) with wheels with flanges. (History of railway transport. [Electronic resource]: https://ru.wikipedia.org/wiki/История_железнодорожного_транспорта. Last accessed 11.06.2021).

The notes of domestic travellers who covered considerable distances in the era before the railways, likewise, are replete with many unflattering reviews about the road infrastructure. The roads of acceptable quality existed only in the western part of the Russian Empire, besides, among them there were only a few routes that made it possible to travel by wheeled transport without many hours or even multi-day stops (roads from St. Petersburg to Moscow, to Pskov, to Novgorod). A. S. Pushkin, A. N. Radishchev, the English scientist W. Cox, the Hanoverian resident at the Russian court F. H. Weber, the honorary surgeon and personal physician of

Alexander I D. K. Tarasov and many others wrote about the inconveniences of travelling. Nevertheless, the passion for travel among Russian writers, poets and artists did not fade away, but with the advent of railways, on the contrary, began to manifest itself to a greater extent, as evidenced by their publication activity and involvement in transport topics [20–22].

Regarding development of railways, it is worth noting that [11, p. 236]: «Starting with the first intercity branch at 56 km (Liverpool–Manchester) in 1830, British railways stretched up to 30 thousand km by 1900, in Europe the total length of railways was 250 thousand km.



Worldwide, the most powerful expansion of railways was observed in the last three decades of 19th century. By 1900, the network in Russia had reached 53 thousand km (but the Trans-Siberian Railway was completed to reach the Pacific Ocean only in 1917), in the USA at the same time there were more than 190 thousand km (including three transcontinental lines), and in total in the world (with most of the remaining railways in British India), there were 775 thousand km. As a result, the expansion of the rail network was the main reason for the unprecedented demand for steel in the second half of the century».

It should be noted as an interesting fact that in urban transport, the peak of the importance of horses fell on the era of steam locomotives, between the 1820s and the end of 19th century. While railways carried long distances, traction transport began to dominate all fast-growing cities in Europe and North America, carrying for short distances. The era of steam engines increased the use of horses. Thus, cargo for the railways had to be collected and brought to the station on horse-drawn carts. It was not possible to do without them even when delivering food and raw materials from the suburbs [11, p. 182]. Soon, at the end of 19th century, with development of electricity and the internal combustion engine, trams and cars began to displace carriages from the roads.

The construction of railways developed at an unprecedented pace, changing the appearance of cities and countries, influencing the life of people [11, p. 314]: «*Railways have transformed the transport system in just decades. Due to them, not only did the space shrink and change its configuration, the level of comfort for travellers also increased. The mile per minute (96 km/h) was first reached for a short time by an ordinary English train in 1847; this year is also marked by some of the greatest railroad activity in the UK, with a dense new transport network in just two generations*».

Having set the pace, Britain began to lose leadership in the speed and extent of railway construction, but continued construction in the colonies. The USA and Russia were active successors of British building traditions [11, p. 314]: «*The total length of British railways was soon surpassed by the American ones, which began to be built in 1834 in Philadelphia. By 1860, the United States had 48 000 km of track, three times that of the United Kingdom. By 1900,*

the difference had increased almost tenfold. The first transcontinental line was completed in 1869, and by the end of the century four more such lines were built. In Russia, railway transport also developed very quickly: by 1860 there were less than 2 thousand km of tracks, but the figure had grown to more than 30 thousand by 1890 and to almost 70 thousand in 1913. The construction of a transcontinental line across Siberia to Vladivostok began in 1891 but was completed only in 1917. When the British left India in 1947, they left behind 54 000 km of railways (and 69 000 across the entire subcontinent). No other mainland country in Asia built railways on a significant scale prior to World War II».

After the war, competition intensified from the part of new modes of transport: cars and airplanes. They diminished the relative importance of railways in most industrialised countries. Nevertheless, during the second half of 20th century, the USSR, Brazil, Iraq, and Algeria vigorously built new lines, and China became the leader in Asia (more than 30 thousand km were built between 1950 and 1990). And the most successful railway innovation of the post-war period was long-distance high-speed trains (Japanese *Shinkasen*). They began to operate in 1964 between Tokyo and Osaka and developed a maximum speed of 250 km/h. Today Japan is a country with more than half a century of experience in operating high-speed lines on an innovative basis [11, pp. 314–315; 23].

Since 1983, the French *trains a grand vitesse* (TGV) have been in operation. This is the first high-speed rail project in Europe, the speed limit of which implies a speed of up to 280 km/h. Similar high-speed lines exist in Spain (*AVE*), Italy (*Frecciarossa*) and Germany (*Intercity*). Over the past 20 years, China has set a new record for the total length of high-speed rail lines. In 2014, there were 16 thousand km of such roads, and in 2019 – more than 30 thousand km. For example, in the USA *Acela* (Boston–Washington, the average speed is only 100 km/h) is difficult even to be attributed as a modern high-speed train [11, p. 315; 24].

To be continued in one of the next issues.

REFERENCES

1. Ershov, G. G. Ancient America: flight in time and space. Mesoamerica [Drevnyaya Amerika: polet vo vremeni i postranstve. Mezoamerika]. Moscow, Aletya publ., 2002, 392 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/view/ershova-gg-drevnyaya-amerika-polet-vo-vremeni-i-prostranstve-mezoamerika_3f6b48c64c2.html. Last accessed 11.06.2021.

2. Macheret, D. A. Socio-Economic Assessment of Transport on the Basis of Historical Comparisons. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 1 (62), pp. 256–271. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/900>. Last accessed 11.06.2021.
3. Berezkin, Yu. E. Inki. The historical experience of the empire [Inki. *Istoricheskiy opyt imperii*]. Leningrad, Nauka publ., 1991, 230 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/berezkin-yue-inki-istoricheskiy-opyt-imperii_1175325376a.html. Last accessed 11.06.2021.
4. Galich, M. History of pre-Columbian civilisations [Istoriya dokolumbovykh tsivilizatsii]. Trans. from Spanish. Moscow, Mysl publ., 1990, 407 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/galich-manuel-istoriya-dokolumbovykh-civilizatsiy_dfl0f723a57.html. Last accessed 11.06.2021.
5. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Macroeconomic role of railway transport: Theoretical foundations, historical trends and a look into the future [Makroekonomicheskaya rol zheleznodorozhnogo transporta: Teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendentsii i vzglyad v budushchee]. Moscow, Krasand publ., 2014, 234 p. ISBN 978-5-396-00528-0.
6. Zagorskiy, K. Ya. Transport economics [Ekonomika transporta]. Moscow–Leningrad, Gosizdat publ., 1930, 368 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Last accessed 11.06.2021.
7. Lewis, M. J. T. Railways in the Greek and Roman world. Eds. J. Rees. A Selection of Papers from the First International Early Railways Conference, 2001, pp. 8–19. [Electronic resource]: <https://pdfslide.net/documents/railways-in-the-greek-and-roman-worlds.html>. Last accessed 11.06.2021.
8. Macheret, D. A., Kudryavtseva, A. V., Ledney, A. Yu., Chernigina, I. A. General technical and economic course of railways [Obshchiy tekhniko-ekonomicheskii kurs zheleznykh dorog]. Moscow, MIT publ., 2017, 364 p. [Electronic resource]: <https://www.twirpx.club/file/3022625/>. Last accessed 11.06.2021.
9. Sotnikov, E. A. World railways from 19th to 21st century [Zheleznie dorogi mira iz XIX v XXI vek]. Moscow, Transport publ., 1993, 200 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/sotnikov-ea-zheleznye-dorogi-mira-iz-xix-v-xxi-vek_c666f295dd1.html. Last accessed 11.06.2021.
10. Sotnikov, E. A. History and prospects of world and Russian railway transport (1800–2100) [Istoriya i perspektivy mirovogo i rossiiskogo zheleznodorozhnogo transporta (1800–2100)]. Moscow, Intext publ., 2005, 112 p. ISBN 5-89277-060-5.
11. Smil, V. Energy and civilization. Trans. from English by D. L. Kazakov. Moscow, Eksmo publ., 2020, 480 p. ISBN 978-5-04-101573-2.
12. Macheret, D. A., Valeev, N. A., Kudryavtseva, A. V. Formation of the railway network: diffusion of epoch-making innovation and economic growth [Formirovanie zheleznodorozhnoi seti: diffiziya epokhalnoi innovatsii i ekonomicheskii rost]. *Ekonomicheskaya politika*, 2018, Vol. 13, Iss. 1, pp. 252–279. DOI: 10.18288/1994-5124-2018-1-10. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32655127>. Last accessed 11.06.2021.
13. Marx, K. Capital. Complete quintessence of 3 volumes. Trans. from German by S. Alekseev; comp. and foreword. By Yu Borchardt. Moscow, AST publ., 2019, 352 p. [Electronic resource]: https://royallib.com/read/marks_karl/kapital_polnaya_kvintessentsiya_3h_tomov.html#0. Last accessed 11.06.2021.
14. Le Goff, J. Civilization of the Medieval West. Trans. from French by V. A. Babinseva after. by A. Ya. Gurevich. Yekaterinburg, U-Factoria publ., 2005, 560 p. ISBN 5-9709-0037-0. [Electronic resource]: <https://booksprime.ru/books/civilizaciya-srednevekovogo-zapada/>. Last accessed 11.06.2021.
15. Macheret, D. A. Socio-economic role of transport in the Middle Ages. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2 (57), pp. 228–237. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/289>. Last accessed 11.06.2021.
16. Melnikov, A. History of the wheel. From potter's wheel to airliner landing gear [Istoriya koleasa. Ot goncharnogo kruga do shassi avialainera]. Moscow, Tsentrpoligraf publ., 2021, 351 p. ISBN 978-5-227-09364-6.
17. Derry, T., Williams, T. A Brief History of Technology. Ideas, processes and devices with the help of which a person changes the environment from antiquity to the present day. Trans. from English by A. A. Ilyin. Moscow, CJSC Tsentrpoligraf publ., 2019, 488 p. [Electronic resource]: <https://obuchalka.org/20210724134561/kratkaya-istoriya-tehnologii-derri-t-uilyams-t-2019.html>. Last accessed 11.06.2021.
18. Levin, D. Yu. History of railway transport: Study guide [Istoriya zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. posobie]. Rostov-on-Don, Phoenix publ., 2018, 414 p. ISBN 978-5-222-28294-6.
19. History of railway transport in Russia [Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii]. Vol. 1: 1836–1917. St. Petersburg, 1994, 336 p. ISBN 5-85952-005-0. [Electronic resource]: <https://bookree.org/reader?file=638029&pg=6>. Last accessed 11.06.2021.
20. Vulfov, A. History of the railways of the Russian Empire [Istoriya zheleznykh dorog Rossiiskoi imperii]. Moscow, Ripol Classic publ., 2016, 744 p. ISBN 978-5-386-08589-6. [Electronic resource]: <https://fb2lib.ru/obshchie-raboty-po-istorii-rossii/istoriya-zheleznykh-dorog-rossiyskoy-imperii/>. Last accessed 11.06.2021.
21. Pavlov, A. From St. Petersburg to Pskov in the era before the railways. On the history of communication lines in Russia in 18th–19th centuries [Iz Peterburga v Pskov v epokhu do zheleznykh dorog. K istorii putei soobscheniya v Rossii XVIII–XIX stoletii]. St. Petersburg, Nestor-Istoriya publ., 2020, 144 p. ISBN 978-5-4469-1021-2.
22. Razuvaev, A. D. Sovremennik Magazine about the Railways (socio-economic analysis) *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 2 (87), pp. 260–269. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-269>.
23. Tsybin, P. E., Razuvaev, A. D. Modern trends in development of railway infrastructure [Sovremennye tendentsii razvitiya infrastruktury zheleznykh dorog]. *Collection of scientific papers «Actual problems of economic and financial management of transport companies»*. Moscow, Art-Business Center, 2016, pp. 182–187. [Electronic resource]: <https://lektsii.org/7-79925.html>. Last accessed 11.06.2021.
24. Razuvaev, A. D. Methodology for assessing the missed effects of distancing the construction of high-speed lines [Metodologiya otsenki upushchennykh effektivov ot otdaleniya stroitelstva VSM]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 12, pp. 30–39. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41509420>. Last accessed 11.06.2021. ●

Information about the author:

Razuvaev, Aleksey D., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Economics of Transport Infrastructure and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, razuvaevalex@yandex.ru.

Article received 11.06.2021, approved 06.09.2021, accepted 22.10.2021.





About the Book «Railway Confusion» by N. P. Verkhovsky. Part 1



News from the Archives

N. P. Verkhovsky, an experienced railway manager, wrote a book entitled «Railway Confusion» and devoted to comprehensive solution of a wide range of topical problems of organisation of the activity of railway companies. In 1910, he presented the book in a special report to the 8th Department of the Imperial Russian Technical Society. The report was positioned as a focused review of the contents of the oeuvre. Extracts from the first part of the report publishing below are dedicated to the detailed and argued reflexions of the author on the requirements for the educational background of engineers and railway CEOs. If we use modern terminology, then the speaker highlighted career trajectory more suitable to finally occupy the position of managers, development of professional and soft skills, leadership and team building, the role of railway high educational institutions, mainstream issues to be included into curricula. Then the speaker refers to almost comprehensive set of issues referring to staff management and social policy towards the employees. The issues covered included organisation of railway education, high and higher school activities, social care regarding railwaymen's children, health and many other aspects.

Keywords: history, Russian railways, education, staff management, higher schools, universities, children and youth police, railways social police, career, skills.

Verbatim of the report of N. P. Verkhovsky and the conversation in the 8th Department of Imperial Russian Technical Society on December 2, 1910, under the chairmanship of A.N. Gorchakov.

Chairman. – Gracious sirs! The program of Nikolai Petrovich's report is placed on the agenda. As you can see, it is very extensive, at least in terms of the number of lines it occupies.

The program of the report of N. P. Verkhovsky. The emergence of the idea of compiling the book «Railway confusion».

Contents of the book

A. About personnel:

1. An extremely careful and strictly considered choice of new railroads' heads and managers.
2. Preparation of engineers for the post of future head and manager of the road, the most serious and difficult on the railways.
3. Preparation of all personnel for railway activities through the following organisation:
 - a) Lower educational schools and colleges.
 - b) Secondary specialised technical schools.
 - c) Evening courses.
 - d) Lectures.

For citation: About the Book «Railway Confusion» by N. P. Verkhovsky. Part 1. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 228–240. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-12>.

Acknowledgements. The editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the material.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

e) Societies for the assistance to school children.

f) Dormitories for school children.

g) Amusing regiments.

h) Libraries, reading room.

i) Bulletin of the railways.

j) Gymnastic and sports societies.

k) Railway Sobriety Societies.

l) Establishing a qualification for the service of railway engineers and other employees.

B. On streamlining the life of employees – introduction of the following measures:

1. Arrangement of churches.

2. Organisation of resorts.

3. Improvement of residential premises and services to them.

4. Promoting employees' railway construction.

5. Proper distribution of land.

6. Organisation of reasonable and moral amusements.

7. Organisation of credit institutions.

8. Development of the issue of women's labour.

9. Development of the issue of remuneration and bonuses for the work of employees, their bonus and gradual increases in salary and correct regulation of work and rest.

10. Changes to holiday rules.

11. Revision of the articles of association of the pension fund.

12. Increased distribution of insurance.

13. Organisation of courts of honour and community courts.

C. On organisation of railway management:

1. Organisation of railway districts.

2. Organisation of local management councils of the same composition but with greater rights and responsibilities.

3. Organisation of ministerial audits of roads.

4. Organisation of congresses of senior employees.

5. Establishment of the dominant position of the Traffic Control Service.

6. Reorganisation of the Collection Service.

7. Reorganisation of accountancy reporting.

8. Increase in number of Legal Departments.

9. An increase in the staff of the medical service and its provision with large material resources.

10. Change in the program of activities of the Commercial Departments.

D. About measures on general issues:

1. Weakening of antagonism between employees.

2. Regulation of free travel and use of service and protection cars.

3. Fight against ticketless travel.

4. Reducing correspondence.

5. Fight against the dominance of non-Russian foreigners.

6. Fight against theft.

7. Reform of the rental of station buffets.

E. On technical equipment of railways:

1. Gradual systematic rearrangement of station tracks in accordance with the functions of the station.

2. Gradual systematic restructuring of warehouses and platforms for loading and unloading goods and changing types [of delivery].

3. Organisation of major and minor repairs of rolling stock on more rational grounds with regard to Traction and Traffic services.

4. Gradual, systematic distribution of different types of steam locomotives along the roads and destruction of types of steam locomotives and cars that do not correspond to modern technology.

5. Construction in the required quantity of a fleet of special cars – refrigerators for transportation of perishable goods over long distances.

F. On the internal organisation of the economy of services:

1. Elaboration and legalisation of a systematic system for changing sleepers and rails and coefficients for the cost of repairing the upper track of railways and the number of workers per verst of the section.

2. Development of special rules for repair of equipment of the traffic service.

3. Development of special rules for accounting for tarpaulins, shields, livestock bars, to avoid their loss along the roads, as well as rules for their maintenance and repair.

4. Development of special rules for sealing the cars.

Speaker – Gracious sirs! The Chairman of the 8th Department of I. R. Technical Society asked me to report on the main points I have taken on the content of my book. I willingly undertook this, desiring to exchange opinions with the venerable assembly on the various questions raised by me. Of course, I cannot report to you my entire book. I have reduced as much as possible...



First of all, I must explain why I had the idea of compiling such a book.

The idea of compiling a book. The constant dissatisfaction with the railway of the public, population, economic, industrial and trade organisations, and financial spheres, expressed in the press, as well as the constant complaints of railway employees about their dissatisfaction with their legal, moral and material existence, and the appearance in the press of the book of the non-technician, gave only a reason to express the author's thoughts inspired by many years of practical experience – thoughts are versatile, covering acute railway issues.

I was led exclusively by the utilitarian side of the business, in the interests of the railways, where I was born, grew up and served for 39 years. As a product of the railway industry, I lived through everything I wrote about, and as I disapproved of the activities of many commanding officials with whom I had to serve, I could not be passive about it. This explains some harshness in assessment of the specific facts I have indicated. Having become related to the railway business and sincerely grieving for its defects, I tried to point out those measures that, in my opinion, could help to streamline it.

Without claiming to be infallible, I expressed my views on the matter as they developed in me during my long service. I did not try to be objective, as I cited a lot of specific facts from my own practice.

It is impossible to report to the venerable assembly everything that is written in my book on 15 printed sheets in the short time given to me, so I will limit myself to a brief summary of only the most important chapters.

In the planned systematic improvement of the railway business, I attached the greatest importance to the personnel, as a reasonable mechanism that moves the whole thing. I will start my report with it.

Personnel. The unpreparedness of engineers to take the position of head of the road. Selection, appointment, and training of engineers for the activities of the head of the road. – The main impulse, the active energy of the whole business on the railway lines is the head of the company – the head of the road and the manager of the road. He is the bearer of a unifying and guiding principle, which should guide all the work of the railway to the

possible successful achievement of the totality of the tasks assigned to it.

Satisfying the needs of the state, industry and trade, the cultural and economic interests of the population and the administration of an industrial enterprise with a multi-million turnover is an extremely important, serious, and responsible task. Let us consider how the heads of roads, in the present setting of the matter, can be prepared for successful fulfilment of such versatile, extensive and cardinal duties.

The study of special railway engineering at the Institute of Railways and all subsequent activities of the engineer, both in the construction of roads and in their operation in the service of the track, only prepare him for acquiring experience in knowledge in the field of engineering technology.

The head of the track service, who is usually appointed as the head and manager of the roads, does not have the opportunity not only to study, but even to get acquainted superficially with operation of the road within the functions included in the field of technical traffic, economic and trade spheres. He is so busy with his own business, concerning the repair of the track and buildings, and the projects of new works and their implementation, that he does not have the opportunity to get acquainted with the tasks of the road to meet state needs, industry and trade, the cultural and economic interests of the population and the area along which it runs operating railway.

The head of the road is charged with the duty to be «first of all a good master of the business entrusted to him», but how can one be a good master in a business whose main functions, the operational side of the matter and all the issues of technical and commercial traffic related or arising from it, are completely unfamiliar to him?

The financial success of every railway, as of a commercial enterprise, depends chiefly on correct operation of trains and disposal of rolling stock, that is, precisely that part of the matter in which the railway manager, who first served in the track service, is the least competent. This branch of operational affairs, which requires the most knowledge and experience, is completely unknown to him, as he did not go through school in the traffic service.

Disposal of rolling stock is such a difficult element of the railway business, which even

a specialist, the head of traffic service, cannot always cope with, what directives can an inexperienced head of the road give him?

The correct movement of trains and the correct circulation of steam locomotives and cars depend, of course, on the orderliness of the traffic service, but on the indispensable condition that it is provided with the necessary assistance from other services, especially the traction service. In the latter case, the interests of the two services clash.

To resolve disputes and mutual disagreement between the services, the authority of an arbitrator in the form of a head of the road is needed. If the head of the road is a layman in this matter, then what kind of arbitrator is he?

Under such conditions, it is extremely difficult for the traffic service to conduct business correctly and economically, and with the constant absence of the support of the head of the road, it is completely impossible.

The head of the road must direct all business, give his directives, and take his own initiative in improving the administration of the line and the conditions of the road, which often change according to the requirements of trade and industry. A person who is not competent in operation, as well as not familiar with the economic situation of the region, cannot carry out such a program. The correctness of this conclusion is confirmed by the scarcity of roads.

What is the position of an experienced head of traffic when he has to deal with a head of road who does not have the most elementary concepts of the traffic service, which is the alpha and omega of the railway business?

Strange as it may seem, but inexperienced road chiefs usually cannot deal with experienced and knowledgeable traffic service heads, and they strive to appoint such young traffic heads who themselves, having no experience and knowledge, would not dampen the absurd demands of their superiors.

A knowledgeable and experienced subordinate always hampers an inexperienced and undeveloped boss, because for any unacceptable proposal of the latter, the first will always find a lot of authoritative objections dictated by the experience of previous years.

Bringing the road into a state of proper organisation, order and profitability is obviously beyond the capacity of the road

heads, who are ignorant of operation of the road.

Things are handled quite differently by the head of the road, who previously served as the head of the traffic service, but, unfortunately, there can be no more than two or three such heads of the roads, and the roads they manage, of course, are not among the scarce ones.

The traction service, as an exceptionally special one with narrow horizons, also cannot provide sufficient preparation for taking up the post of head of the road.

From what I have said follows the urgent need to organise the full training of engineers for they can occupy the post of the head of the road. It seems to me that this can be done by the following measures. An engineer, distinguished by his talents, love for work, energy and ability to work, even in his youth should be carried out in three main services: track, movements and traction, appointing him to responsible senior linear positions, after a thorough study of which, he should be appointed head of service for four-five years, in each of these major services. After such a test, he should serve two or three years as an assistant to the head of the road, to familiarise himself with all other services and departments, especially with the commercial department.

Having gone through such a school and having practically acquired the qualification of a road head, the engineer will receive a completely universal knowledge of the functions of all services, gain great experience and, already as a head of the road, will be fully armed with all the serious requirements placed for a person holding such an important post. Only under such conditions is it possible to bring roads out of their chaotic state and make them profitable.

Another of the main qualities necessary for a person appointed as the head of the road is firmness of character. It serves as the base for direction of the entire local world.

Weakness of character is a very large and, one might say, unacceptable defect in a person holding such a responsible post.

In terms of seriousness and responsibility of the case, the head of the road is hardly no higher than a corps commander, or the commander of a large naval squadron, but these commanders are not appointed from among persons who have not passed all the



preparatory positions established by the qualification for such posts, despite even the patronage of aunts, uncles and all sorts of relatives. In Germany, examinations have been established for every railway position, why don't we introduce the skill I have indicated.

Before it is carried out, it is necessary to appoint heads of roads from assistants who are distinguished by their knowledge and experience. But at the same time, not from among the people who have already lost their ability to work, as is often done now, should be appointed to the position of assistant heads of roads, but, on the contrary, heads of services outstanding in their activity and energy, mainly from the traffic service, and thus preparing them for taking up such a serious post, as the post of head of the road.

Recently, that is, in 1909, two appointments of road heads took place, for the state and private roads, and both appointments fell on the former heads of traffic, engineers Enman and Borisov. This is a very gratifying phenomenon in modern railway life, which is of particular importance. It can be seen from it that the administration of railways and the boards of private roads, under the influence, obviously, of the trends of the new ministry, are taking the right path of appointing department heads, from among the specialists in the traffic service, as the most important service on which the success of the technical movement of the road depends. It would be a pity if this principle were not applied in subsequent appointments.

Strictly speaking, the principle by virtue of which it is customary for us, as if it is by heritage, because of long-standing precedents, to assume that the head or manager of the road should be a railway engineer, has not been clarified at all.

Our best managers, at that time, like I. E. Adadurov, S. Yu. Witte, who talentedly created a new railway business at that time, were not railway employees.

In England, the managers of the roads are all exclusively practitioners who have developed during service in various branches of the business, mainly technical, traffic and commercial railway operations, and have come to the fore through their useful and talented activities. They are not specialists in construction and mechanical engineering, but people of talent, intelligence and ingenuity, in

whose hands roads grew into profitable enterprises. They themselves are directly in charge of movement of trains and goods, without special traffic heads. There is no last post on English roads at all; there are only assistant managers working on their instructions.

To conduct the technical work of building, repairing buildings, tracks, managing steam locomotives, cars and workshops in England, there are specialist engineers who do not act as road managers, as they are not prepared for such activities.

I am far from thinking of preventing the railway employees from occupying the positions of heads and managers of roads, but I declare only the need, in the interests of the cause, for serious practical preparation of them for this difficult duty, in the manner I have indicated above. I insist on the need to adhere to the wise English principle, beautifully expressed in the saying: *«the right man on the right place»*.

In the institutes of railway engineers, additional courses in operation of railways should be opened, more detailed than those taught at present, as well as courses in statistics, accounting and commodity science for persons who intend to devote themselves to the operational service on railways. Candidates for the posts of managers and heads of roads should develop in themselves the commercial acumen necessary for the ringleaders of a large commercial business.

The talented head of the road directly takes upon himself the directive of the whole matter, in which he shows his personal initiative: he becomes an authoritative arbiter in case of misunderstandings between the heads of services and departments, bringing them together and coordinating them in joint affairs and cooperating their activities. He leaves behind only matters of special importance. He entrusts the rest to his assistants, the manager of affairs and the engineer of special assignments, who are charged with the duty of constantly keeping him informed of everything that happens on the road, reporting on everything done that is of serious importance, and in difficult and more or less important cases to consult with him and receive his instructions and orders.

The ability to impress everyone, to illuminate the matter and to warm all

employees with its impulse – this requires great talent, and this is the whole secret of the success of the road. Only that boss who, in terms of intelligence, talents and knowledge of the matter, stands head and shoulders above his subordinates, can impress them, cooperate with their work and serve as a real tuning fork for his orchestra.

The harmony of the choir in the railway business leads to order and income, – dissonances to disorder and scarcity.

The talented distribution of labour among his direct employees provides the head of the road with enough free time to travel along the line, not only during the mandatory spring and autumn inspections, but also at any other time when the personal presence on the line of the head of the company makes it necessary. In order not to return to the road heads anymore, I will touch upon the issue of their reward; it seems to me that their salaries cannot be considered exaggerated in comparison with the remuneration received by representatives of private large commercial firms. A decrease in salaries will only cause the impossibility of attracting capable and talented people to occupy these positions, who, by their energetic and reasonable work, can develop movement of goods on the road and give it the opportunity to become profitable. A bad boss, of course, does not deserve a large salary, but such a person cannot be put at the head of the business, since he is harmful to the business, regardless of the salary received.

It must be taken into account that the activity of the head of the road is not determined by the hours assigned for classes; it is not interrupted day or night, weekdays or holidays. Every minute he must be fully armed with urgent orders. Just as the movement of trains on the roads is not interrupted, so is the activity of the head of the road uninterrupted. Such a state of something costs the nerves of the organism and, in the issue of remuneration, should, in all fairness, be taken into account in favor of the heads of roads.

The most correct thing would be to give part of the salary depending on the profitability of the road, but it is almost impossible to work out a general, universal coefficient for such remuneration, due to the difference in the work of each individual road. It would be necessary to develop a coefficient for each road

separately, which presents significant difficulties.

In any case, one of the elements of the additional remuneration offered by the «Non-Technician», depending on the production of new works, I consider unacceptable. The road heads are already most busy with the technical construction part, despite the fact that there is a specialist track master with a technical office on the road, and the material interest of the road head in savings on new buildings will interest him even more actively in this part of the matter, to the direct detriment of others, more important commercial service industries.

The bonus factor for the head of the road should be worked out only depending on the net profit of transportation, on the success of the turnover of the rolling stock and on the productivity of its work.

The calculation of the bonus factor requires such a subtlety in determining the function of the road that it will probably never, or at least for a very long time, be applied.

The results of the financial activity of the road are currently completely dependent on tariff rates, on the mass of mandatory unpaid transportation of the postal department, the prison administration, poorly paid military and resettlement state transportation, the mass of requirements for roads by the Railway Administration and the Ministry of Railways, in view of the regulation of the case, and on the Highest passages, as well as the military department, in the interests of extreme importance – the defence of the state.

All these transportations and requirements, usually exceeding the size of estimated assumptions and appropriations, cause unforeseen expenses that are inaccessible to accounting for the cost of the road; they undoubtedly have a serious influence on profitability of the road and thus represent factors that introduce elements that are difficult to take into account and even often complete confusion in the calculation of bonuses, the basis of which should be purely mathematical quantities that are quite tangible and accessible to accounting.

It remains only to apply to the chief of the road the method of additional remuneration with large bonuses for successful results of the road operation, as is done by the boards of private roads. Under such a system, of course, it is necessary to reduce the size of the



estimated salary to such a minimum at which it, together with awards, would be equivalent to real salaries of the chiefs of roads.

The idea of bonuses should not include the desire to reduce salary of the head of the road, but only the desire to coincide with a fairer payment for the utility of labour.

Personnel training. – I will turn to the issue that is one of the most difficult tasks of the department, namely, preparation of personnel for reasonable performance of their duties, guaranteeing, to the maximum possible, safety of movement of passengers, integrity and success of transportation of goods.

Nowhere, in any other enterprise, the success of a business is not so partially dependent on individual qualities, properties, knowledge, experience, good and bad will of each individual employee, young and old. Despite the special importance of such a formulation of the matter, on which the lives and property of citizens on the railways depend, to our shame, very little has been done in this regard.

Let us consider all the institutions organized on the railways for personnel in relation to preparing them for railway activities and ensuring their mental, moral, family, hygienic and material existence.

Let us see if it is possible to put the conditions for existence of railway personnel in such a position in which people would go to the service of the railways with a store of knowledge, education, would go not because there was nowhere else to go, but in order to apply their knowledge, strength and energy to the cause of such a corporation, the service in which would provide some privileges to worthy agents and which it is impossible for the first comer to get into.

Educational institutions, lower schools and colleges. – For more than half a century there have been railways, but so far nothing significant, systematically defined in training of personnel has been done.

Reorganization of railways must begin with organization of the life of personal. It is necessary to raise its low cultural level and establish legal and domestic security.

There are attempts at several separate roads to organization of various educational institutions a common program has not yet been worked out, although at the deliberative congresses of the leaders of movement

questions about this have been raised more than once, the developed reports and projects of measures have been read.

So far, only one South-Western road is richer than others in schools that provide some education for the children of employees and training for the employees themselves, but they are still far from systematic, school, special training of employees for various special branches and occupations.

In the educational issue, it is necessary to distinguish between two categories of institutions that have a very distant connection with each other – these are lower educational schools for minors and secondary schools – specially preparatory for adults.

The former ones provide a general, lower education, which is necessary for every child, no matter in what field he may labour in the future. The only thing these schools have to do with railway business is that they are supported by railway loans and teach the children of railway employees. They teach only literacy, prayers and the first rules of arithmetic.

This training is carried out at school age, which cannot be utilized by the railways for carrying out any practical work. It constitutes only the basis and impetus for further education for pupils and pupils who have the means and the ability to improve.

The category of the latter represents a single phenomenon, but as a rule, railway boys who have been educated in lower railway schools are scattered in various fields of technical, economic and social life, as applicants prepared for a future independent life in order to guarantee their own maintenance and their future family or elderly parents.

Some of them, of course, return to the railways when they reach adolescence or adulthood and are attached by their parents or relatives to various positions, such as the telegraph office, all kinds of offices and linear positions of markers, sealers, weighers, conductors, repair workers, etc. Those trained in the skill go to railway repair and traction workshops.

Secondary special schools. – The second category of schools is secondary special, preparatory, and of these there are only technical railway schools. These educational institutions prepare young people directly for railway activities, as road foremen and,

especially, machinists. Strictly speaking, only these schools can be considered as institutions that prepare young people for railway activities. But, unfortunately, there are few such schools, no more than one or two per road, and there are none at all on new roads, which is why the contingent of trained people is very small. There are currently 41 schools.

There is also a special kind of preparatory institutions – these are evening courses. But they are not very common, and then only on some old roads.

The management of the railways has a special task, which in its seriousness is the alpha and omega of the entire railway business – this is precisely development of a systematic planned organization of schools, schools and courses so common that not a single railway position of any technical nature, in a universal meaning of the word, has not been replaced by anyone other than a person specially trained to occupy it.

Only such preparatory educational institutions can develop a technically trained cadre of personnel of junior employees who can provide a guarantor of the correct and conscious performance of their duties.

It should be introduced as a rule for unswerving execution that no special position on the roads should be replaced except by presenting a certificate of education and passing a test in the appropriate special school.

At present, persons who do not have a certificate of passing the exam are not accepted for positions related to technical movement of trains, and even all such persons newly entering the roads are tested in examination boards organized at traffic offices or movement service departments. Passengers can be sure that the employees on whom safety of sending trains to hauls and ordering their movement along the station tracks depends, are really familiar with their business. Their service mistakes are possible only due to inattention to performance of official duties, and not due to unfamiliarity with them and with the established rules. In this regard, the roads provide passengers with a real guarantee.

But train safety on the hauls is directly dependent on correct, thorough and skilful inspection of all the running parts of the cars, the lubrication of axle boxes, on correct maintenance of switches and tracks, why all the junior employees, whose duties are to perform

these functions, as inspectors, oilers, switchmen, maintenance workers and senior workers, must be trained in their specialty and examined.

But one cannot be complacent about organization of examination committees, i. e. verification of acquired knowledge; it is also necessary to provide employees and outsiders with easier ways to study the railway business in special schools, colleges, i. e. to acquisition of this knowledge.

They are especially needed by a contingent of people who are preparing themselves for technical activities in movement of trains. In practice, telegraph operators are usually prepared for this activity, and then only through a long observation at the stations of the matter of technical movement between their work. On many roads, various manuals and catechisms are sent to the stations, serving as manuals for studying the rules established on the roads. Such a distribution should be built into a system, made mandatory, so that the employees of each station have at hand the means for inquiries and self-study.

Practical study and training in the manuals and catechisms only make it possible to pass the exam for the right to be on duty on movement. But this is absolutely not enough, schools and systematic courses are needed.

Will there be no systematic, planned training of employees, there will be no suitable people, and as a result of this order and correctness of the course of the whole thing.

There are private railway courses in the capitals, but, unfortunately, they train specialists not so much in the railway business as in the commercial one.

In St. Petersburg, under the Imperial Russian Technical Society, there are special railway courses. But all this is a drop in the ocean, compared with the actual need for training of railway technicians.

The railways have taken it upon themselves to take care of the education of the younger generation of junior railway employees.

The duty is quite honourable, but, unfortunately, loans allocated for education are almost always insufficient on all roads, as a result of which the children of not all railway employees who do not have the means to use city schools and state educational institutions can study in them. In this case, the children of employees who live at small stations and do not have schools suffer especially.



Indeed, all railway schools are located at large stations, where there is a significant contingent of employees.

The only way for the children of employees at intermediate small stations to receive primary education in such schools is to settle them at large stations in foreign families. But this involves substantial expenses that only a few of the employees can afford, the youngest as workers, watchmen, switchmen and others who receive a small salary, are forced to refuse it and leave their children – illiterate.

Of course, by chance, sometimes employees are at the station, and more often their wives, who take it upon themselves to teach such children to read and write for a small remuneration, but this phenomenon is quite rare.

Although organization of schools for initial education of children of employees is not of direct benefit to railways, nevertheless this kind of activity is urgently needed to arouse in employees an interest in devoting themselves to the service of railways and to bind them to them.

In this regard, the roads should do their best to ensure that child education benefits are in the nature of attracting employees and evoke conscious gratitude to the roads for caring for children.

Education should be free, with the issuance of books, notebooks, pencils, pens, etc. school allowances in kind.

Railway Board Circular No. 765 of January 13, 1909, which established the rate of payment for education of children, should be repealed.

It is untimely to introduce payment for the right to study, when all of Russia is striving to organize compulsory and free literacy education for all.

But railways must go further to provide all children of employees with the opportunity for initial education. Stand still is to go back – say the English, i.e. to stand still means to go backwards. In the matter of education, one must work hard and for a long time in order to achieve its correct organization.

At large stations with schools, it is necessary to arrange hostels for accommodation of children living outside these stations. On some roads there are such hostels based on the funds of employees, but

they are very rare, and their existence is far from being ensured.

Dormitories should be run by road training staff, i.e. committee of educational institutions. For housing and supervision of children, the most minimal payment should be collected if it cannot be done free of charge.

In general, all the conveniences and privileges provided to children from the side of the road should have an enormous moral impact on employees and, of course, will be taken into account by them and taken into account by outsiders when choosing occupations and services.

This is one of the main tasks of training worthy and reliable employees, and it is necessary to pay special attention to it.

Meanwhile, from the reporting data, we see that the railways, in the educational respect of the children of employees, have done very little, and the railway population is completely not provided with primary education.

By January 1, 1907, there were 322825 children of school age on all railways, of which only 75035 people were studying, and, consequently, 247790 remained out of school education, i.e., more than 75 % of the total child population.

As regards the number of railway schools in comparison with the length of the railways, there is only one school for 127–128 versts – their number is still so small. In this regard, the Department of Railways still needs to do a lot to force employees to seriously consider the educational benefits of railways, the provision of roads to them.

Strictly speaking, the opportunity to receive initial education for railway children cannot be called a privilege, this should be the responsibility of the railways, since with the comparative sparseness of the population in Russia in general and the dispersion of stations throughout the vast territory of the country, no other department can take care of education of children of employees on the roads. A lot of work and money must be invested in the state treasury to bring this issue back to normal.

As regards the quality of the lower schools, practice has shown that two-year schools are needed, with a two-year teaching that provides a more thorough, completed primary education.

In these schools, it is necessary to organize meals for children with breakfast.

The programs of our technical railway schools also need to be reviewed. There is something wrong with them. They, like all our Russian educational institutions, suffer from the vastness of theoretical information and the comparative insignificance of practical studies.

At technical railway schools, it is necessary to improve the conditions of the hostel for those students who come from afar, and such are the largest percentage. Their living conditions are often extremely difficult, interfering with the correct course of studies in schools.

For correct formulation of educational work, a broad organization of societies for the assistance of student children is necessary.

Physical exercise. – The education of youth and children in railway schools and colleges will be incomplete if gymnastic exercises, marching and games are not introduced into them. Giving the children of employees mental education, it is necessary to take care of development of their physical strength and the correct growth of the body in order to prepare completely healthy disciplined youth, able to endure all the hardships of the future life and be worthy citizens of their Fatherland, ready both for difficult railway activities and for carrying military service to defend their fatherland.

Nothing teaches order, endurance and discipline as much as training in military formation. They need to occupy the children by devoting at least an hour daily to it. I would teach marching to girls too. From a hygienic point of view, marching teaches you how to walk, run, breathe and hold your torso correctly. It is equally useful and necessary for both men and women.

Railways need healthy young people, and they, in turn, need healthy wives and mothers of their future children railway workers.

Children learn military exercises very easily and indulge in them with great pleasure. It is useful science and entertainment between class lessons. The energy excited in young organisms by systematic bodily movements will be usefully turned to mental studies, and the latter will go more successfully. No wonder the ancient culture promoted «Mens Sana in corpore sano».

To fulfill the integrity of the program of railway education, it must be national-moral and hygienic-physical.

In my opinion, militarization of the railway school is a panacea for all the devastation that has taken root in the railway sphere, and its most radical treatment should be started from young shoots that are accessible to easy perception and assimilation of discipline and order.

If a lot of objections were raised against the project of militarization of adult railway workers put forward by General von Wendrich, then one can hardly object to militarization of young people without violating common sense and good wishes for the good of the cause. All countries are militarizing the youth in the interests of proper development of the organism and future protection of the state. We should not be left behind.

The amusing regiments of Peter the Great laid the foundation for the Russian invincible army, which created a colossal state; school railroad regiments form the future cadre of railroad employees who will finally establish order and improvement of roads.

The deeply fruitful idea of militarizing the school has recently been suggested by our Sovereign, the railways, as pioneers of culture and civilization, should also go ahead of other departments in the school industry and contribute to fulfillment of the plans emanating from the throne, which are so useful for ensuring the future of the roads themselves and, in fact, so easy to do. This should be recognized by the chiefs and administrators of the roads and measures should be taken for speedy fulfillment of the royal desire. The voice of the Minister of Railways would cause intensified activity of all roads in this matter.

Unculturedness is our great weakness, and in order to acquire culture, education, education, education is necessary.

The body at the helm of education, the Committee of Educational Institutions, must work energetically and tirelessly to do everything possible for the railway schools both quantitatively and qualitatively.

Libraries and reading rooms. – Railway libraries, reading rooms, and assistance in ordering newspapers and magazines also contribute a lot to mental and moral development of employees. Every effort should be made by senior officials, as well as by the railway department, to establish good permanent and mobile libraries on all railways, especially on new ones, which are most in need of credit for their establishment.



In the same way, it is necessary to check the literary and technical work of senior employees and the articles they publish in state-owned journals to pay a fee, as a kind of incentive to work.

Railway Bulletin. – I find it extremely useful for employees not only to read special technical articles on various branches of the railway business, but also to write them, placing them in special journals and in my Bulletin, the publication of which on every road, state and private, should be introduced into the custom. The prototypes of such «Bulletin» can serve as «Bulletin of the South-Western and Transcaucasian roads».

The roads should exchange such «Bulletins» in order to borrow everything useful from each other and keep abreast of the affairs of other roads.

Literary and technical works of railway employees, placed in these «Bulletins», should be paid by the line-by-line payment in order to attract more forces and arouse a desire to study railway questions and to write down observations and research.

Arranged here in St. Petersburg, on the initiative of the Minister of Railways S. V. Rukhlov, evening lectures in the assembly hall of the Institute of Railway Engineers are extremely useful and instructive not only for students of the institute, but also for railway employees and for the public.

Railway sobriety societies. – In order to distract the youth from bad and harmful passions and strengthen their organism, it is necessary to organize gymnastic and sports clubs under the administrations. Athletics, Swedish and military gymnastics, marching, shooting, boating, skating, skiing, riding and cycling, playing tennis, bowling – these are activities that would maintain the health and good spirits of employees and at the same time would unite them with each other and develop corporate solidarity, destroying the antagonism harmful to the cause and to themselves, which, unfortunately, is being introduced into railway life.

Introducing the listener into the details of the life of railway employees, I cannot keep silent about one very regrettable defect that has penetrated into the mores and life of railway workers and, in a certain way, constitutes a raft of the flesh of society itself and the entire population. This defect is alcoholism.

Unfortunately, in recent times this enormous evil has been making especially strong progress everywhere, including on the railways.

The interest in safety of passengers and employees requires that employees of such executive services as movement and traction be people who are completely healthy, with sharp eyesight and hearing, and always in control of their full mind. Alcoholism deprives them of all this.

A lot of investigations of all kinds of cases on the roads find out the abnormal state of the employee responsible for the incident. This abnormality arises solely on the basis of the influence of wine vapors.

It can be unmistakably said that absolute teetotalers on the railways are an insignificant minority. Many office workers regularly drink one or two glasses of vodka before lunch and breakfast. This is the most correct, if it is no longer possible to completely abandon alcohol, and is almost harmless to the body and service, and in the northern latitudes it can even be useful. Many employees drink immoderately, but at least in a timely manner, outside of duty; many suffer from drunkenness, but, what is worse and more dangerous, they are hopeless alcoholics who are always half drunk. They are the most dangerous subjects, who, coming to the service, apparently in a normal standing, soon get drunk from the drunk glass brought with them, and, remaining unnoticed by the elders in the service, cause by their unconscious actions a lot of wrongdoings, which often, under unfavourable circumstances, become fatal.

Practice reveals the occurrence of accidents from omissions made simultaneously by several employees of different services; if at least one of the employees turns out to be executive, then misfortune is warned. Let me take a specific example. The switchman, despite checking the switch by the assistant on duty, moved the switch almost in sight of the train, placing it mistakenly on the track already occupied by the train. The driver, inattentive to the service, did not pay attention to the position of the switch, and there was a collision of trains. An attentive driver, efficient, will notice the wrong position of the switch and take timely measures to slow down the train, or stop it, and misfortune is prevented.

In view of arrangement of service on the railways, in which the action of one employee is checked by others, misfortunes occur much less often than they could occur. The biggest cases usually occur with inattention of a whole series of persons, and vice versa – attentiveness and sobriety of one paralyzes the oversights of others.

Thus, often the health and life of passengers and employees themselves, as well as the integrity of private and state property, hangs, so to speak, in the balance, from the oversight of employees, which is greatly enhanced under the influence of the monopoly product.

The sober behaviour of employees on the railways is more necessary than anywhere else, and the fight against alcoholism should be one of the main concerns of superiors.

Medicine recognizes the attraction to wine as a disease. Drunken drunkards, indeed, are sick people – they need to be treated. Those in whom this passion has not yet turned into an illness must be artificially diverted from wine by all means.

Meanwhile, on our roads in this regard, no measures have yet been taken, either medical or administrative. We don't have a sobriety society, and we don't hear about their origin. Even in the press one hears no voices about measures to weaken and eliminate alcoholism among railway workers. Dismissal from the service of drunkards is the only measure in the fight against alcoholism. But after all, an alcoholic, dismissed from one road, enters another, continues the immoderate use of alcoholic beverages and serves until a new catastrophe. Dismissal from service does not correct and does not cure the patient, but only pushes him off his shoulders onto others, without destroying his harmful influence.

Life itself and service on the roads is favorable for development of alcoholism, which is especially developed among the unmarried youth of the telegraph traffic service. Duty shifts to sleep, and sleep to duty. At short intervals, having nothing to do, they look for pleasant conversations with comrades, in which gossip plays a paramount role; they wash the bones of the elders and push out all the dirt of the younger ones, and to calm the overwhelmed nerves, a cup walks around during the conversation. After it, of course, disputes, quarrels and often a scandal, and, in the end, non-performance in the service.

Abroad, they have long recognized the harm of alcoholism among railway workers, and measures are being taken to combat it. England as early as 1882 took up this issue and began to organize unions and societies to combat drunkenness. It was followed by Norway in 1892, then Sweden in 1901, Germany, Switzerland and Finland in 1902, Denmark and France in 1903, Austria in 1906 and finally Holland in 1909.

In 1907, a congress of teetotalers was held in Stockholm and the International Union for the Temperance of Railway Employees was organized. In 1909, there were the following number of members of this union: in England – 43 000, Sweden – 4 500, France – 3 200, Finland – 900, Switzerland – 550, Denmark – 500, Germany – 460, Norway – 450 and Austria-Hungary – 125, for a total of 53 685 members.

Here in Russia it is necessary to organize a sobriety society for railway employees with branches on each not only state, but also private road. On the organization of the Committee of the Society in St. Petersburg, it must join the international union.

I submitted a note about this to the Minister of Railways and made a cry in the journal «Ways of Communication». May God grant that this idea be realized as quickly as possible and that a solid society develop, spread all over Russia to establish sobriety among all railway workers.

The sobriety of employees is a guarantee of order, and order is the threshold of profitability. We will strive for order and bring the roads out of their scarce state.

Establishment of a service qualification for employees. – In one of his talented articles, M. O. Menshikov expressed himself so figuratively and appropriately for this case that I allow myself to quote him: «For any business that claims to be above mediocrity, deep interest is needed; the more serious the matter, the more necessary it is to amuse the doer, to captivate him by the very process of action».

This property is extremely necessary for the railway business, but it is often lacking in modern senior employees. Since the choice of a certain activity is a matter of career, then it cannot amuse or captivate. The modern boss is very often a man of the twentieth; peace and quiet – this is its main service principle.



Of course, there are happy exceptions, and it would be strange and too bleak if there weren't any.

I have expressed my personal opinion here, based on many observations, but I do not claim to be infallible. As a railway enthusiast, I would be heartily glad to be wrong.

Satisfaction of religious needs. – Having reported to the venerable assembly the issues that embrace the interests of the personnel, I will move on to measures to meet the religious needs of linear employees. Only the needs of the latter can be discussed. All service personnel living in cities do not need management concerns; city churches and clergy are at their service. The line is another matter, and especially in the sparsely populated areas of our vast outskirts.

Organization of churches. – On outlying roads passing in sparsely populated areas, it is necessary to have car-churches, as a temporary measure for large stations and as a permanent measure for small stations. Churches should be built at large stations. If there are no radical appropriations and the funds of employees are insignificant, then I would consider it possible to build adobe or sand-beaten churches.

On old roads it is not uncommon to find beautiful railway churches at large stations, which arose solely on the voluntary offerings of employees. The old roads are rich in personnel of personnel who have settled in the field for a long time and, of course, have some savings, some of which can be shared without loss for a good cause. It all depends on the initiator. Such a person will appear, – you see, in a year or two, and the good news will be heard, calling the Orthodox to prayer.

The railway environment is a great force, you just need to wish and be able to direct it to good deeds. Through self-help and unity, many necessary and useful institutions can be created for the soul and body. Where there is a real owner, there is work in full swing. More of them only!

Medical and sanitary organisation. – The directorates and boards of the railways have always been stepmothers to the medical side of things. The development and improvement of the railway business went on as usual, without touching the medical part, which was always in the paddock. The figures for the road consumption of the entire network for the

medical and sanitary part vividly confirm this conclusion.

In 1875, the expense per verst of the road was – 26,37 rub., in 1887–40,37 rub., in 1901–79 rub., in 1907–126,26 rub.

In addition to hospitals, outpatient clinics and waiting rooms, it is necessary to establish own railway resorts for treatment of pulmonary and rheumatic pains, which mainly affect employees.

Benefits for medical treatment in most cases do not reach the goal. In my time, on Privislinskaya still private road, the management acted very prudently, entering into an agreement with resorts for treatment of employees, for whom it itself paid a fixed fee.

At present, some roads pass through the steppes, in which herds of horses graze and where it is quite possible to organise koumiss-healing establishments, as well as near salt springs, in which it is possible to arrange railway bathing.

Tashkent road is a great convenience for establishment of a koumiss-healing institution, common to all employees of the railways, as well as salt baths at Iletsk salt mines.

The chief doctor of this road, Mr. Orlov, has already chosen an appropriate place for these resorts, and he is busy with a loan. 2000 roubles were allocated for 1909 and 1910. But this is too small a sum to be able to do anything in this direction.

I submitted a note to the Minister of Railways on establishment of a koumiss-healing facility at Ber Chogur station and salt baths at Iletsk station, proposing in the project an allocation of 2 000 roubles for each road, which were transferred to Tashkent road to organize resorts that could be used by all roads. It is desirable to involve private roads for treatment of their employees.

I do not know what the result of my project will be, but the execution of it will be a great gain in the interest of caring for junior employees and their families.

End of part 1

N. P. Verkhovsky

(Zheleznodorozhnoe delo

[Rail Business],

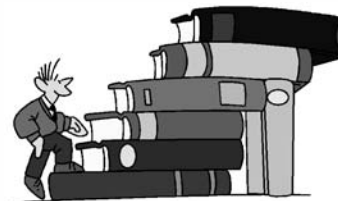
1911, Iss. 21–22, pp. 35d-43d)

The final part will be published in one of the next issues of our journal ●



TRANSPORT EDITIONS 242

Review of publications of OSJD Bulletin: official and brief information, analytics, scientific publications.



BIBLIO-DIRECTIONS



SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES 245

- *Development of a decision support system for the problem of four-dimensional navigation in civil aviation..*
- *The use of pipe-concrete structures with a shell made of polymer composite materials in construction of small bridges.*
- *Features of the aerodynamics of the undercar space of high-speed rolling stock.*
- *Development of methods for stabilising the cylinder power of a diesel engine in idle mode with an electronic fuel supply control system.*

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 249

New editions released by publishing houses and universities of the country.





Materials of the Bulletin of the OSJD published in the second half 2021



In this issue, we acquaint readers with the contents of the recently published issues of the Bulletin of the Organization for Co-Operation between Railways (OSJD). They cover a wide range of interaction between railway administrations and companies from member countries of this authoritative international organisation.

Keywords: OSJD, Bulletin of OSJD, Organization for Co-Operation between Railways.

Double issue 4–5, 2021 contains in particular:

- Materials about the activities of the PKP Group (Polish State Railways) in connection with the 20th anniversary of the Company.

- An article by Nikolai Nosenko, Chairman of the OSJD Commission on Transport Law, dedicated to the 70th anniversary of the two most important documents that provide the legal framework for implementation of international railway transportation of passengers and goods between the OSJD member countries on the Eurasian continent: the Agreement on International Passenger Traffic by Rail (SMPS) and the Agreement on International Freight Traffic by Rail (SMGS).

- An article by Igor Leshchinin, Head of the Department of International Relations and Interaction with Federal, Regional Authorities and Public Associations of JSC FPC, entitled «Prospects for restoring international passenger rail traffic in the post-pandemic period».

- An article by the Chairman of the OSJD Commission on Freight Transportation Z. A. Aspayaeva, Professor of PSTU V. L. Belozarov, Professor of RUT (MIIT) P. V. Kurenkov and Senior Lecturer of RUT (MIIT) A. V. Astafiev, Associate Professor of SamSTU V. A. Sadchikova entitled «Infrastructure of Railways in Russia and the OSJD Countries: Problems and Prospects», which provides a brief analysis of implementation of the outlined plans for development of infrastructure in the Russian Federation, and also provides statistics on freight traffic along the OSJD railway transport corridors passing through the territory of Russia; shows the economic importance of ensuring safety of the transportation process.

- An article by Ph.D. (Eng) Alexander Luvishis «Driverless locomotives and trains on the railways of the world and OSJD», which emphasises that «robotisation of rolling stock is

For citation: Materials of the Bulletin of the OSJD published in the second half 2021. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 242–244. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-13>.

The full text of the editorial publication in Russian is posted in the first part of the issue.

Полный текст редакционной публикации на русском языке размещён в первой части данного выпуска.

a revolutionary change in railways, comparable to the transition from steam to electric traction, which promotes efficiency, safety and competitiveness of railway transport».

- An information report on the participation of Mirosław Antonowicz, Chairman of the OSJD Committee, in the 30th Anniversary plenary meeting of the CCTT, held in the capital of the Russian Federation, Moscow on September 15–16, 2021, working meetings with the Deputy Minister of Transport of the Russian Federation Vladimir Tokarev, as well as with the management of JSC Russian Railways (RZD), headed by General Director – Chairman of the Board Oleg Belozyorov.

- Information about the meeting of the delegation of the OSJD Committee with the Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of the Republic of Korea in the Republic of Poland.

- Information from the specialist of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy Diana Yurkowski about the 9th International Interdepartmental Meeting of the OSJD Member Countries «Practice of Crossing Borders by Rail», which, in accordance with the Work Plan of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy for 2021 on the topic «Development of measures aimed at facilitating border crossing during international rail transportation in the Eurasian space», was held from 21 to 22 September 2021 in Gdansk.

- An information report on the Meeting of Group I of OSJD Railways on development and final approval of timetables for passenger trains in international traffic for 2021/2022, held in Olomouc (Czech Republic) on August 9–13, 2021.

- An information report on the Meeting of Railway Experts on the topic «Systems for Booking Seats, Reference and Information Services for Passengers, Provision of Services and Development of Financial Reporting», held in accordance with the Work Plan of the OSJD Commission on Passenger Transportation for 2021 from 28 to 30 September 2021 in the OSJD Committee (Warsaw) via videoconference.

- Information from Kunka Kirkova, specialist of the OSJD Permanent Working Group on Financial and Accounting Issues, on the Final Meeting of Representatives of the Parties to the Agreement on the Rules for Accounting in International Passenger and Freight Railway Traffic, held in accordance with the Work Plan of the OSJD Permanent Working Group on

Financial and Accounting Issues (PRGF) from 12 to 15 October 2021 via videoconference.

- Information from Elena Antonevich, specialist of the OSJD Commission on Transport Law, on the 21st meeting of the CIV/SMPS Working Group (CIV – Convention on the International Carriage of Passengers and Luggage by Rail, SMPS – Agreement on International Passenger Traffic by Rail), held from 20 to 21 October 2021 at the headquarters of the CIT (Bern, Switzerland) via videoconference with the participation of representatives of the General Secretariat of the CIT (GS CIT), the General Secretariat of OTIF, ÖBB, JSC PKP Intercity, JSC RZD / JSC FPC and JSC Ukrzaliznytsia, as well as a representative of the OSJD Committee as an observer.

- An information report about the OSJD training seminar on the topic «Application of the CIM/SMGS consignment note», held in accordance with the Work Plan of the OSJD Commission on Freight Transportation on 7–8 July 2021, and which was attended by representatives of the railways of the OSJD member countries: CJSC AZhD, ARA, BC, VZhD, GR, RAI, NC KTZ JSC (KZH), Korail, KRG, CFM, UBZD JSC, Ministry of Infrastructure of the Republic of Poland, PKP Group JSC (PKP Cargo JSC, PKP Informatika JSC, PKP LHS LLC), JSC Russian Railways, TDZh, TRK, UTI, UZ, ChD Cargo; OSJD observers – VR Group, National Society of French Railways – Freight Transportation (SNCF Fret); affiliated enterprises of OSJD – JSC OTFIK ERA, JSC Eurosib SPb Transport Systems, JSC PLASKE; international organisations – WCOMO, EAEC, CIT, CCTT, OLE MA TMTM; invited representatives of JSC TCDD–Transportation, as well as representatives of the OSJD Committee.

- An information report about the Anniversary International Railway Salon 1520 «PRO//Dvizhenie. EXPO» (August 26–29, 2021 on the territory of the experimental railway ring of JSC VNIIZhT, Shcherbinka, Moscow, Russia).

- An information report about the 14th edition of the TRAKO International Railway Exhibition in Gdansk from 21 to 24 September 2021.

- An information report from the Chairman of the OSJD Committee Mirosław Antonowicz and specialist of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock Angelina Shurganova about the «9th Intermodal Transportation Forum» (FRACHT) held in Warsaw from 18 to 19 August 2021.



The issue 6, 2021 contains in particular:

- Information on the annual meeting of the OSJD Commission on Transport Policy and Development Strategy, held on October, 19–22 2021, attended by representatives of the OSJD member countries from: the Republic of Azerbaijan, the Republic of Belarus, the Republic of Bulgaria, Hungary, Georgia, the Republic of Kazakhstan, the People's Republic of China, the Kyrgyz Republic, the Republic of Latvia, the Republic of Lithuania, the Republic of Moldova, Mongolia, the Republic of Poland, the Russian Federation, Romania, the Slovak Republic, the Republic of Uzbekistan, Ukraine, the Czech Republic, the Estonian Republic, as well as the OSJD affiliated enterprise Metrans Group, international organisations – the Eurasian Economic Commission, the International Union of Railways, the International Coordinating Council for Trans-Eurasian Transportation, the International Association «Trans-Caspian International Transport Route» and the OSJD Committee.

- Information report on the joint meeting of the Authorised representatives of the members of the OSJD Ministerial Conference and the Conference of General Directors (responsible representatives) of the OSJD Railways, in which the Authorized representatives of the members of the OSJD Ministerial Conference and/or the Authorized representatives of the members of the Conference of General Directors took part on November 30–December 3, 2021 (responsible representatives) of the OSJD railways.

- An article by the Chairman of the OSJD Commission on Freight Traffic, Zubayda Aspayeva, is dedicated to the results of the work that were noted at the final meeting of the OSJD Commission on Freight Traffic (October 12–15, 2021 in the OSJD Committee (Warsaw) via videoconferencing) and tasks for the upcoming period.

- An information report on the annual meeting of the OSJD Commission on Infrastructure and Rolling Stock (November 8–10, 2021 in the OSJD Committee in the format of a videoconference) with the participation of CJSC AZD, BC, NC ZhI (Bulgaria), CJSC MAV and CJSC MAV-Start, JSC NC KTZh, JSC LTG Infra, ChFM, JSC PKP, JSC Russian Railways, ZhSR, CFR – JSC, JSC Ukrzaliznytsia, JSC ChD, as well as affiliated enterprises OSJD – Southwestern University of Railway Transport (Chengdu, China) and Betamont LLC (Slovakia); international

organisations – OTIF, UIC, as well as the OSJD Committee.

- An article by Sergey Kabenkov, Editor-in-Chief of the OSJD Bulletin magazine, is dedicated to a significant event: more than fifty years ago, in November 1970, the new «Rules for the technical operation of railways of the USSR» were approved in the USSR, according to which the standard of 1520 mm gauge was established throughout the country.

- An information report about the meeting with the delegation of the Republic of Korea in the OSJD Committee held on December 8, 2021. The delegations of the parties were headed by the Chairman of the OSJD Committee Miroslaw Antonowicz and the Minister of Land, Infrastructure and Transport of the Republic of Korea Noh Hyeong Ouk. The delegation of the Republic of Korea also included Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of the Republic of Korea to the Republic of Poland Mira Sun, Kim Yong-seok, Deputy Minister for Aviation, Mr. Kwon Hyuk-jin, Advisor to the Minister for Infrastructural Issues, Mr. Choi Jeong-Min, Director of the Overseas Construction Support Department, Mr. Pak Sun-ho, Chairman of the International Construction Association of Korean Association (ICAK), Deputy Director for Overseas Construction Support Division Kwak In Yong and other officials.

- A material is devoted to the 15th International Forum and Exhibition «Transport of Russia». It is noted that these events took place as part of the «Transport Week 2021» in Moscow, which took place from November 13 to 19. The forum was held face-to-face in compliance with all epidemiological safety requirements, and for those delegates who could not come to participate due to epidemiological restrictions, the opportunity to participate in videoconferencing was organised. The forum and exhibition traditionally discussed all the problems of development of the main types of transport in Russia and in the international segment, and the main achievements of the transport industry over the past year were also demonstrated.

- An information report about the 19th International Conference «Transport Services Market: Interaction and Partnership» held in Moscow on December 9, 2021, which is traditionally held by the editors of the RZD-Partner magazine. This time it was held in person, and for delegates who could not come due to restrictions, an online format was also organised. ●

Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Russian Transport Universities

*The texts of the abstracts originally written in Russian
are published in the first part of the issue.*

*Тексты авторефератов на русском языке
публикуются в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-14>
World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 245–248

Budkov, A. S. Development of a decision support system for the problem of four-dimensional navigation in civil aviation. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka sistemy podderzhki prinyatiya resheniya dlya zadachi cheterykhmernoj navigatsii v grazhdanskoj aviatsii. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MAI publ., 2021, 22 p.

One of the directions for development of air navigation in accordance with the global air navigation plan of the International Civil Aviation Organisation (ICAO) is the introduction of the possibility of global control of four-dimensional trajectories. To implement this opportunity, it is necessary to modernize not only the ground air navigation infrastructure, but also existing airborne equipment complexes.

One of the main on-board systems that ensure the flight of an aircraft (AC) along a given route is the aircraft navigation system. It is the system, that, first of all, should be able to support flights along four-dimensional routes.

The key task of four-dimensional navigation is to ensure the ability of the aircraft to arrive at a given waypoint at a given time. The functionality of modern computing systems for aircraft navigation, owns already a function that, to one degree or another, solves this problem. This feature is called RTA (from the English Required Time of Arrival).

The objective of the thesis is to increase the flight safety by automating the operational on-board planning of four-dimensional routes, taking into account the influence of wind conditions, restricted areas and areas of adverse weather conditions.

The following main conclusions and results were obtained in the thesis.

The task of developing a decision support system that provides a solution to problems that arise during flights along four-dimensional routes has been posed and solved.

The architecture of the decision support system has been developed, which contains all the necessary elements and connections with external

systems to ensure the functions assigned to it. The system consists of three modules and also interacts with the aircraft performance database, the aircraft navigation system, the source of weather data and data on restricted areas.

A technique for searching for optimal four-dimensional routes has been developed that satisfies the requirements defined for it as a result of the analysis of identified problems during flights along four-dimensional routes, namely:

- To provide search for solutions according to four optimisation criteria.
- To calculate a three-dimensional trajectory in one calculation step without separating the horizontal and vertical planes.
- To take into account the influence of wind conditions, as well as the presence of zones of difficult weather conditions or restricted areas.
- Aircraft performance characteristics.

The rules for generating a sign of unavailability of movement along the active route are developed, the conditions for informing the crew about the occurrence of an emergency situation during a flight along a four-dimensional route are determined for the functions of monitoring the active flight plan and decision support, respectively.

Algorithms have been developed that implement the main steps of the methodology for finding optimal four-dimensional routes, the rules for monitoring the status of implementation of a four-dimensional route, as well as development of signs of problems in the process of performing a four-dimensional route.

The developed software is implemented in the form of Java Script software, has a modular architecture, and includes: a search module for optimal four-dimensional routes, an active flight plan monitoring module, and a decision support module. The software «Simulator of the search module for the optimal four-dimensional route of the decision support system» is registered in the Register of computer programs (certificate of state registration of the computer program No. 2021616587 dated 23.04.2021).

Three stages of modelling were carried out, which fully confirmed operability and adequacy of the developed software and algorithmic support for calculating optimal four-dimensional routes.

Simulation results numerically confirmed the effectiveness of:

- Application of the selected optimisation criteria to solve the problem of finding optimal four-dimensional routes.
- Analysis of three-dimensional space in one step of calculations.
- Application of the A-star algorithm in terms of adequacy of the computation time on routes of different distances.



The results of the thesis are implemented in the research and development work «Development of on-board radio-electronic equipment for the MS-21 family of mainline aircraft (MS-21-200 and MS-21-300, with PW-1400 and PD-14 engines)» of the branch PJSC «Irkut Corporation» «Integrating Centre» and the educational process of the department 703 «System design of aircraft complexes» of the Institute No. 7 «Robotic and intelligent systems» of MAI, which is confirmed by the relevant implementation acts.

2.3.1 – System analysis, management, and information processing (technical sciences).

The work was performed and defended at Moscow Aviation Institute (National Research University).

Mikhaldykin, E. S. The use of pipe-concrete structures with a shell made of polymer composite materials in construction of small bridges. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Primenenie trubobetonnykh konstruksii s obolochkoi iz polimernykh kompozitsionnykh materialov pri stroitelstve malykh mostov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MADI publ., 2021, 25 p.

The relevance of development of new design solutions for construction of small bridges, allowing to reduce the cost and construction time, as well as to increase the service life of structures, follows from the state of the bridges of highways in the Russian Federation.

According to Rosstat [Federal State Statistics Service], the condition of more than 500 permanent structures is assessed as poor. In addition, temporary structures, such as wooden bridges with a limited service life, cause a big problem if in Ulyanovsk region the number of wooden bridges is 79, then in Khabarovsk region there are already 706 of them. As indicated in the conclusions of the international rating Global Competitiveness Report of the World Economic Forum 2019, the Russian Federation ranks 99th out of 141 in terms of road quality. Indirectly, the shortage of the bridges can be estimated by the number of permanent crossings – 257 summer and 3500 winter ones, as well as per the amount of transport excess mileage – 70–80 % for Moscow and at least 50 % throughout Russia. On the other hand, the relevance of the study – the use of polymer composite materials in construction – is confirmed by the inclusion of this topic in the State Program «Industrial development and increasing its competitiveness».

The topicality of the problem is confirmed by a comprehensive discussion on the need to include «Bridges and Overpasses» program in the National

Project for «Safe and high-quality highways» (BKAD), as well as the inclusion of the issue of solving the problems of the bridges in «Comprehensive plan for expansion and modernization of the main infrastructure until 2024 (KPMI)».

The objective of the thesis is to develop a methodology for the use of arched pipe-concrete structures with a shell made of polymer composite materials in construction of small bridge structures.

As part of the thesis, in accordance with the goal, a general methodology for designing and calculating arched pipe-concrete structures with a shell of polymer composite materials was developed in construction of small bridge structures.

The results and main conclusions of the thesis are as follows:

- A review and analysis of existing studies and proven methods for calculating both traditional pipe-concrete structures with a steel shell and structures with a polymer composite shell was carried out. The historical retrospective of development of the direction of research of pipe-concrete structures is shown. The existing approaches to design of bridge structures with the main load-bearing elements of pipe-concrete structures are considered based on the analysis of the erected structures.

- A mathematical model of a pipe-concrete structure with a polymer composite shell was developed, based on a theoretical approach to distribution of deformations along the height of the section from the premise of compliance with the hypothesis of flat sections. Strength criteria are proposed based on well-tested models of concrete performance used in the current regulatory documentation. An algorithm for the method of calculating the bearing capacity of structures has been developed.

- A program for testing materials and structurally similar elements of full-size PCM beam and arch specimens was developed. Materials were tested to determine the mechanical and physical properties, resistance to aggressive media. It is shown that the test procedure existing in GOST 25.601-80 is not suitable for determining the ultimate strength of obliquely reinforced anisotropic specimens with biaxial weaving. A method for testing such materials is proposed.

- Based on the results of tests of structurally similar beam and arch specimens in full size, an analysis of possible defects of the shell and their influence on the bearing capacity was carried out. The absence of accumulation of deformations and other negative effects after low-cycle tests is shown. The absence of slippage between the shell and the concrete core is experimentally substantiated.

- Technological parameters for the manufacture of arched pipe-concrete structures have been worked out.

- The results of verification of the developed methodology and comparison of its reliability with other similar methods are presented. It is shown that the developed technique gives an average error of 13,5 %. A comparison was made with the approved methodology of the Maine State Institute, which showed an average error with the experimental data of this work of 75 %.

- Analysis of the experimental data made it possible to draw a conclusion about reliability and safety of operation of structures with the main load-bearing elements in the form of pipe-concrete structures with a shell of polymer composite materials. To confirm the conclusions made, a system for monitoring the status of the pilot facility was developed.

- Within the framework of this work, the main approaches to design of compressed-bent pipe-concrete structures with a shell of polymer composite materials were developed. Based on the analysis of the effect of various defects on the bearing capacity of the structure, requirements for permissible shell defects were developed.

05.23.11 Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels.

The work was performed and defended at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Polyakova, E. Ya. Features of the aerodynamics of the undercar space of high-speed rolling stock. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Osobennosti aerodinamiki podvagonnogo prostranstva vysokoskorostnogo sostava. Avtoref. dis... kand. tekhnauk]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 16 p.

One of the priority areas for development of modern railway transport is creation of a high-speed rail network that provides passengers with the best balance of speed, safety, comfort, and cost of travel. An increase in the speed of trains entails the need to solve a wide range of problems, including those related to the analysis of processes resulting from the aerodynamic interaction of ballast particles and pieces of ice (during the cold season) with air flows generated by passing high-speed rolling stock, since ballast particles, picked up by the indicated air flows, having a sufficiently high kinetic energy and moving along a rather complex trajectory, despite their small size, pose a serious danger both to outdoor signalling devices and rolling stock units, and to pedestrians, passengers and railway workers.

The objective of the thesis is to solve the scientific problem of studying the processes of

movement of air masses in the undercarriage space of high-speed rolling stock, the mechanism of entrainment of particles by the air flow and their interaction with the body, undercarriage equipment and chassis.

The work carried out a set of theoretical and experimental studies to solve the scientific problem of movement of air masses in the undercar space of high-speed rolling stock, the mechanism of entrainment of particles by the air flow and their interaction with the body, undercarriage equipment and chassis. Wherein:

- It has been established that the existing concept of modelling high-speed rolling stock represents the object under study in the form of a thin body of high elongation with a poorly streamlined shape, which has intense turbulent diffusion in the area of the head and tail fairings, as well as in the recesses of the undercarriages and inter-car spaces. In such models, there is no way to determine particular cases of interaction between the air environment disturbed by the rolling stock and the objects of the surrounding infrastructure, for example, undercar space. It is shown that the existing models, methods, and regulations do not consider the possibility of lifting particles from the railway track in summer and ice particles in winter.

- A method has been developed to determine the direction of air volume flows from the lower part of the car body, the niches of the undercarriage in the lateral directions, as well as into the space between the body and the bogie frame. Its verification and software implementation were carried out based on comparison with the results of tests of models similar in geometry type in wind tunnels and in full-scale measurements.

- It has been established (experimentally and numerically) that at low-frequency vibrations of the railway track during movement of high-speed rolling stock, a ballast particle lying freely on a sleeper of road tracks can lose contact with the ground and hang in the air, which is called «particle hovering». The diameter of the particle, which can be entrained by the air flow from the surface of the superstructure of the track, is also determined.

A classification of damage to the lower hatches and side elements of the bulwarks of the undercarriage space by flying out crushed stone according to the characteristic form of residual plastic deformation into three types is proposed:

- «Bell-shaped» deformation, groove-like deformation and «breakdown» in the form of an irregularly shaped hole. Schemes of interaction of a hovering particle with the surface of the hull hatch are proposed: elastic ricochet, plastic ricochet.

- A mathematical description of the dynamic loading on the composite plate of a part of the protective board of the body under the impact of



a solid particle was developed using a modified Zener model.

- Three variants of numerical modelling of dynamic loading of the protective side of the body were studied: composite membrane, composite structure with beam volumetric elements, composite structure of layered representation. It is shown that the most adequate model, which corresponds to the real physical characteristics of high-speed dynamic loading, corresponds to the composite structure of the layered representation.

- Recommendations were given to prevent entrainment of ballast layer particles by high-speed rolling stock.

- A three-dimensional aerodynamic model of the structure of moving air masses in the undercarriage space of high-speed trains is proposed, which makes it possible to establish the features of formation of snow and ice deposits on the undercarriage structural elements that are critical for traffic safety.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Strungar, S. A. Development of methods for stabilising the cylinder power of a diesel engine in idle mode with an electronic fuel supply control system. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka metodov stabilizatsii tsilindrovyykh moshchnostei dizelya na rezhime kholostogo khodapri elektronnoi sisteme upravleniya podachei topliva. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 24 p.

The objective of the thesis is to increase the efficiency of the 1-PD4D diesel engine of TEM18DM locomotives with ESUVT.01 by developing methods for technical diagnostics and stabilization of cylinder capacities in idle mode.

The following main results were obtained in the thesis:

- Analysis of operation of 1-PD4D diesel engines of TEM18DM locomotives with ESUVT.01 in operation in idle mode revealed an uneven distribution of indicator power over the cylinders, the value of which is up to 11,5 % of the total diesel power.

- A method was developed and tested for determining the indicator power of a diesel cylinder in idle mode by measuring the increment in duration of fuel supply by electrically controlled fuel pumps ESUVT.01 when the fuel supply to the cylinder is turned off.

- Methods for technical diagnostics of diesel cylinder operation were developed and tested, allowing to clarify the cause of cylinder failure.

- Calculation and experimental methods for stabilizing the cylinder capacities of the 1-PD4D diesel engine with ESUVT.01 in idle mode were developed.

- Based on the developed methods, algorithms for technical diagnostics of operation of cylinders and stabilization of the cylinder capacities of a diesel engine were compiled.

- Verification of algorithms on the bench diesel generator 1-PDG4D showed that as a result of power stabilisation according to the calculation method, the indicator power was redistributed among the cylinders. At the same time, the difference in the indicated powers did not change and remained equal to 2,2 kW. As a result of the power stabilization by the experimental method, a decrease in the difference in the indicated power for the cylinders was obtained from 2,5 kW to 1,8 kW.

- Verification of the algorithms on the 1-PD4D diesel engine of the TEM18DM No. 1022 diesel locomotive under operating conditions showed that as a result of power stabilisation by the experimental method, a decrease in the difference in the indicated power across the cylinders was obtained from 3,0 kW to 1,0 kW.

- Evaluation of effectiveness of implementation of the proposed technical solutions. Savings in operating costs over the service life of the ESUVT.01 system of 15 years due to implementation of algorithms for technical diagnostics and stabilization of cylinder capacities on diesel engines 1-PD4D of the fleet of diesel locomotives TEM18DM at the base of the operating locomotive depot Bologovskoye in the amount of 20 units is 4,35 million roubles. The payback period of the proposed technical solutions is 0,65 years.

- The results of this work are planned to be used for further improvement of the electronic fuel injection system for diesel locomotives.

As recommendations and prospects for further development of the topic of the thesis, it is proposed to adjust the calculation method for stabilising cylinder capacities in terms of clarifying the magnitude of the change in the indicator efficiency when varying the amount of fuel supplied to the cylinder, as well as clarifying the differences in mechanical losses for individual diesel cylinders.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification

The work was performed and defended at Russian University of Transport. ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles originally edited in Russian is published in the first part of the issue.

Список изданий на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-6-15>
World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 6 (97), pp. 249–250

Andreeva, T. I. Private railway transport of Siberia: Monograph [*Chastniy zheleznodorozhniy transport Sibiri: Monografiya*]. Barnaul, AltSPU publ., 2021, 275 p. ISBN 978-5-88210-999-7.

Apattsev, V. I., Ivankov, A. N., Ivankov, A. N. Stations and nodes: Study guide in two parts [*Stantsii i uzly: Ucheb. posobie v dvukh chastyakh*]. Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, Part 1, 158 p. ISBN 978-5-4488-1150-0; Part 2, 251 p. ISBN 978-5-4488-1152-4.

Blonsky, L. V. History of water and air transport in Russia: Study guide. Ministry of Transport of the Russian Federation, RUT (MIIT). [*Istoriya vodnogo i vozdušnogo transporta Rossii: Ucheb. posobie*]. Saratov, Amirit publ., 2021, 148 p. ISBN 978-5-00140-844-4.

Bochkareva, N. A. Serving passengers of railway transport along the route: Textbook [*Obsluzhivanie passazhirov zheleznodorozhnogo transporta v puti sledovaniya: Uchebnik*]. Moscow, IPR Media; Saratov, Profobrazovanie publ., 2021, 295 p. ISBN 978-5-4497-0596-9.

Bukovsky, S. L., Sachkova, E. V. English for railway transport: Textbook [*Angliiskiy yazyk dlya zheleznodorozhnogo transporta: Uchebnik*]. 2nd ed., ster. Moscow, Flinta publ., 2022, 469 p. ISBN 978-5-9765-3992-1.

Degtyareva, O. S. Statistics of railway transport: Practicum [*Statistika zheleznodorozhnogo transporta: Praktikum*]. Novosibirsk, Publishing House of Siberian Transport University, 2021, 82 p. ISBN 978-5-00148-164-5.

Dorofeev, V. V., Kuznetsov, I. E., Stepanov, A. V., Cherepanov, D. V. Aviation meteorology: Study guide. [*Aviatsionnaya*

meteorologiya: Ucheb. posobie]. Voronezh, Tsifrovaya poligrafia publ., 2021, 210 p. ISBN 978-5-907283-62-6.

Dudkin, E. P., Mokeichev, E. Yu., Marshavina, O. A. Organisation of transportation with industrial railway transport: Study guide [*Organizatsiya perevozok na promyshlennom zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 41 p. ISBN 978-5-7641-1530-6.

Gazizova, D. B., Yanovsky, I. I., Tigina, E. G. Passenger transportation management: Study guide [*Upravlenie passazhirskimi perevozkami: Ucheb. posobie*]. Omsk, Omskblankizdat publ., 2021, 360 p. ISBN 978-5-8042-0711-4.

Grachyov, V. V., Kruchek, V. A., Bazilevsky, F. Yu. Fundamentals of working processes of diesel engines of diesel locomotives: Study guide. [*Osnovy rabochikh protsessov dizelnykh dvigateley teplovozov: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 40 p. ISBN 978-5-7641-1521-4.

Kondrashov, V. M., Maksimov, I. N. Alternative methods for studying the dynamics of railway vehicles [*Alternativnye metody issledovaniya dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhei*]. Moscow, RAS publ., 2021, 105 p. ISBN 978-5-6047616-0-1.

Korovyakovskiy, E. K., Slobodchikov, N. A. Freight transportation commerce: Study guide [*Kommertsiya gruzovykh perevozok: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, Part 2, 55 p. ISBN 978-5-7641-1596-2.

Ksenzova, N. N., Rotko, L. A., Lepek-hina, Yu. A. [et al]. Mechanism for creating a system for coordinating business processes in integrated logistics networks of the ports of the Azov-Black Sea basin: Study guide. [*Mekhanizm sozdaniya sistemy koordinatsii biznes-protsessov v integrirovannykh logisticheskikh setyakh portov Azovo-Chernomorskogo basseyne: Ucheb. posobie*]. Moscow, Alpen-Print publ., 2021, 76 p. ISBN 978-5-6045948-1-0.

Lychev, D. I. Problems of legal protection of atmospheric air in the activities of railway transport: Monograph [*Problemy pravovoi okhrany atmosfernogo vozdukh v deyatelnosti zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya*]. Saransk, Ogarev Mordovia State University, 2021, 148 p. ISBN 978-5-7103-4236-7.



Malygin, E. A. Technical means and technologies for ensuring safety in railway transport: Study guide. [*Tekhnicheskiye sredstva i tekhnologii obespecheniya bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie*]. Yekaterinburg, UrSTU publ., 2021, 448 p. ISBN 978-5-94614-496-4.

Mishenin, S. E. Economy of transportation resources. The experience of railway employees in Western Siberia in 1965–1991: Monograph [*Ekonomiya perevozochnykh resursov. Opyt zheleznodorozhnikov Zapadnoi Sibiri 1965–1991 godov: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 264 p. ISBN 978-5-16-01612-8-0.

Ognev, A. S., Nikolaeva, L. P., Likhacheva, E. V. Effective conflict resolution as a component of crew resource management (CRM). [*Effektivnoye razresheniye konfliktov kak sostavlyayushchaya upravleniya resursami ekipazha (CRM)*]. Moscow, Sputnik+ publ., 2021, 22 p. ISBN 978-5-9973-5977-5.

Panin, Yu. A., Grinevich, V. P., Ivanova, N. G. [*et al*]. Rail lubrication in railway transport: popularly about theory and practice [*Lubrikatsiya relsov na zheleznodorozhnom transporte: populyarno o teorii i praktike*]. Ed. by Yu. A. Panin. Tula, Borus-Print publ., 2022, 152 p. ISBN 978-5-905154-70-6.

Pank, R. V., Golenya, Yu. V. Logistics of passenger transportation: Study guide [*Logistika passazhirskikh perevozok: Ucheb. posobie*]. Novosibirsk, Publishing House of STU, 2021, 100 p. ISBN 978-5-00148-220-8.

Rakhmangulov, A. N., Tsyganov, A. V., Pikalov, V. A., Muravyov, D. S. Mathematical modelling of transport systems and processes: Study guide. [*Matematicheskoye modelirovaniye transportnykh sistem i protsessov: Ucheb. posobie*]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University publ., 2021, 190 p. ISBN 978-5-9967-2253-2.

Shapkin, I. N. Present and future of operational science in railway transport [*Nastoyashchee i budushchee ekspluatatsionnoi nauki na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, Finansy i statistika publ., 2021, 490 p. ISBN 978-5-00184-059-6.

Shkurina, L. V., Pokusaev, O. N., Maskaveva, E. A. Modern trends in economic management of passenger transportation in

railway transport: creating competitive advantages and market modeling [*Sovremennye tendentsii ekonomicheskogo upravleniya passazhirskimi perevozками na zheleznodorozhnom transporte: sozdanie konkurentnykh preimushchestv pri modelirovanii rynka*]. Moscow, VINITI RAS publ., 2021, 161 p. ISBN 978-5-902928-93-5.

Sokolov, M. M. Fundamentals of railway automation and remote control: Study guide [*Osnovy zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki: Ucheb. posobie*]. Omsk, OSTU publ., 2021, Part 2, 78 p. ISBN 978-5-949-41273-2

Tsevelev, A. V. Management of material resources: logistics (railway transport): Textbook [*Upravlenie materialnymi resursami: materialno-tekhnicheskoe obespechenie (zheleznodorozhnyi transport): Uchebnik*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 427 p. ISBN 978-5-16-017025-1.

Vilk, M. F., Gurevich, K. G., Zhidkova, E. A., Onishchenko, G. G. Medical aspects of railway traffic safety: Monograph [*Meditsinskie aspekty bezopasnosti zheleznodorozhnogo dvizheniya: Monografiya*]. Moscow, SPM-Industriya, 2021, 285 p. ISBN 978-5-906410-19-1.

Volodkin, P. P., Shirokorad, O. A., Arkhipov, S. A., Ryzhova, A. S. Passenger road transport: technology of organisation and management: Study guide [*Passazhirskie avtomobilnye perevozki: tekhnologiya organizatsii i upravleniya: Ucheb. posobie*]. Khabarovsk, Publishing House of PNU, 2021, 98 p. ISBN 978-5-7389-3455-1.

Zhevtun, I. F., Lanskich, V. V. Logistics and technologies of cargo transportation in road transport: Study guide [*Logistika i tekhnologii gruzovykh perevozok na avtomobilnom transporte: Ucheb. posobie*]. Khabarovsk, Publishing house of TOGU, 2021, 109 p. ISBN 978-5-7389-3402-5.

Zykin, S. A., Kulagin, A. V. Communication and notification systems. Information and technical equipment of the crisis management center: Study guide. [*Sistemy svyazi i opoveshcheniya. Informatsionno-tekhnicheskoye osnashcheniye tsentra upravleniya v krizisnykh situatsiyakh: Ucheb. posobie*]. Izhevsk, Udmurt University publ., 2021, 57 p. ISBN 978-5-4312-0884-3.

Compiled by Natalya OLEYNIK ●

CONTENTS OF THE ISSUES OF WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION JOURNAL PUBLISHED IN VOL. 19 (2021)

THEORY

- Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V.*
Mathematical Model of Transport Behaviour Based
on Transport Macrosystems Theory Iss. 6 (97) pp. 141–146
- Alexeev, V. M., Baranov, L. A., Kulagin, M. A., Sidorenko, V. G.*
Building Architecture of Intelligent Control System for Urban Rail Transit System Iss. 1 (92) pp. 33–46
- Baranov, L. A., Bestemyanov, P. F., Balakina, E. P., Okhotnikov, A. L.*
Errors in Measuring the Distance to an Obstacle by Technical Vision Means
and in Forecasting Braking Distance in Driverless Train Control Systems Iss. 6 (97) pp. 134–140
- Filippova, N. A., Bashmakov, I. A., Kochegura, D. Yu.*
Goals and Risks of Activity as Factors of Regulation in Social Systems
in Transport Sector Iss. 2 (93) pp. 156–160
- Grigoriev, P. S., Korzhin, S. N., Ibodulloev, Sh. R., Tran, Phu Thuan*
Mathematical Modelling of Tank Wagon Vibrations Considering
Partially Filling of the Tank with Liquid Cargo Iss. 2 (93) pp. 167–172
- Guchinsky, R. V.*
Application of Elastic Fastenings of Equipment to Increase Vibration
Frequency of the Wagon Body Iss. 2 (93) pp. 150–155
- Kossov, V. S., Savin, A. V., Krasnov, O. G.*
On the Issue of Determining Relative Rail Rolling Contact Fatigue Damageability Iss. 1 (92) pp. 12–17
- Kozlov, P. A., Vakulenko, S. P., Kozlova, V. P., Evreenova, N. Yu.*
On the Principles of Design of Transport Nodes Iss. 4 (95) pp. 166–172
- Popov, I. P.*
Heavy Train Starting Model Iss. 2 (93) pp. 161–166
- Sladkova, L. A., Neklyudov, A. N.*
Dynamics of the Rolling Stock and the Choice of Parameters of Vibration Dampers Iss. 4 (95) pp. 173–180

SCIENCE AND ENGINEERING

- Bunkova, T. G.*
Increasing Service Life of a Railway Wheel with Surface Hardening Technology Iss. 1 (92) pp. 54–59
- Chernyaev, I. O., Evtyukov, S. A.*
Using In-Vehicle Monitoring Data to Assess Road Conditions of Traffic Flows Iss. 4 (95) pp. 194–199
- Dimitrov, R.*
Evaluation of the Useful and Residual Life of a Class of Relay-Based
Centralised Traffic Control Systems Iss. 5 (96) pp. 134–144
- Kazansky, N. A., Lysyuk, P. I.*
Methods of Analysis and Synthesis of Switching Circuits of Photonic
Switches Using the Example of Spanke Architecture Iss. 5 (96) pp. 145–150
- Kotiev, G. O., Evseev, K. B., Godzhaev, Z. A.*
Analysis of Structural Design of Tracked Road Trains for Off-Road
Container Transportation Iss. 5 (96) pp. 151–162



Kulikov, M. Yu., Biryukov, V. P., Prints, A. N.

Analysis of Tribotechnical Properties and Comparative Evaluation of Polymeric Materials and Rubbers Used in Rolling Stock

Iss. 3 (94) pp. 158–166

Kvashnin, N. M., Bondar, I. S., Kvashnin, M. Ya.

Techniques for Processing Experimental Data for Structural Health Monitoring of Bridges

Iss. 4 (95) pp. 182–193

Nemtsov, Yu. V., Seryogin, I. V., Volnov, P. I.

Performance of Base Stations in Railway Digital Radio Communication Networks

Iss. 2 (93) pp. 183–190

Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M., Davydenko, V. I.

Fluxgate Sensors for Onboard Weighing Systems of Heavy-Duty Dump Trucks

Iss. 3 (94) pp. 167–174

Petrushin, A. D., Samchny, V. Yu., Lobytsev, V. V., Fokin, S. G.

Automation of the Control of Electric Drive of Manned Submersibles

Iss. 6 (97) pp. 148–153

Postolit, A. V.

Prospects for the Use of Artificial Intelligence and Computer Vision in Transport Systems and Connected Cars

Iss. 1 (92) pp. 83–90

Postolit, A. V.

Automation of Collection of Primary Data for Development of a Passenger Origin-Destination Trip Correspondence Matrix Based on Computer Vision and Neural Network Technologies

Iss. 2 (93) pp. 174–182

Shabelnikov, A. N., Olgeizer, I. A., Sukhanov, A. V.

Concept of Digital Platform at Marshalling Yards

Iss. 1 (92) pp. 67–73

Stekolnikov, M. V., Milovanova, L. R., Chelysheva, I. A.

Modelling of Mechanisms as a Methodological Tool (the Case of Designing a Cycloidal Pin Transmission)

Iss. 4 (95) pp. 200–206

Troitsky, P. S.

Applicability of Gas Turbine Traction in High-Speed Rail Projects in Russia

Iss. 6 (97) pp. 154–158

Voron, O. A.

Methodology of Research on the Demand for Development of Transport Infrastructure and Rolling Stock for Perishable Goods Transportation

Iss. 3 (94) pp. 148–157

ECONOMICS

Akimov, A. V., Bubnova, G. V.

Public Passenger Transport Logistics in the Context of Digital Transformation of Transportation Services Organisation Systems

Iss. 4 (95) pp. 220–230

Antipenko, V. S., Babich, N. S., Galkin, K. V.

Optimisation of Inventory Levels as Logistics Challenge

Iss. 2 (93) pp. 206–210

Boger, A. D.

Situational Analysis of the Cargo Transportation Market and Prospects for Its Development

Iss. 6 (97) pp. 165–173

Efimova, O. V., Surodin, Yu. N.

Modelling and Optimisation of the Business Process of Documentary Support of Cargo Transportation for Building a Digital Document Management System

Iss. 2 (93) pp. 199–205

Guskina, N. V.

The Impact of the Transport Industry on the Economic and Technological Capacity of the Territories

Iss. 5 (96) pp. 178–184

| | |
|--|-------------------------|
| <i>Kupriyanovsky, V. P., Namiot, D. E., Pokusaev, O. N.</i> Physical Internet and Logistics Transportation Systems of the Digital Economy | Iss. 1 (92) pp. 101–109 |
| <i>Matantseva, O. Yu., Kazantsev, I. S., Nizov, M. A., Spirin, I. V.</i> Methodological Foundations of Renewal and Expansion of Car Fleet | Iss. 4 (95) pp. 208–219 |
| <i>Najafov, E. M., Hasanli, O. N.</i> The Method of Valuing of Logistic Outsourcing Services | Iss. 6 (97) pp. 160–164 |
| <i>Nikulina, N. L., Averina, L. M.</i> The Role of Regional Transport and Logistics Infrastructure in Development of a Single Economic Space | Iss. 3 (94) pp. 176–186 |
| <i>Pastukhov, S. S., Stelmashenko, K. V.</i> New Approaches to Pricing Management of Transport Services | Iss. 6 (97) pp. 174–186 |
| <i>Popova, T. A., Popov, A. P.</i> A Formalised Approach to Optimal Adoption of a Complex of Technical Means | Iss. 3 (94) pp. 187–194 |
| <i>Tarasenko, E. A.</i> Classification of Objects of Supply Chain Management to Ensure Their Sustainability | Iss. 2 (93) pp. 192–198 |
| <i>Troitsky, P. S.</i> Low-Cost Long-Distance Passenger Train Model | Iss. 5 (96) pp. 173–177 |
| <i>Tyapukhin, A. P., Kolovertnova, M. Yu.</i> Flows in Value Chains | Iss. 1 (92) pp. 123–134 |
| <i>Yusupova, O. A.</i> Analysis of Loyalty of Individual Customers to Increase the Customer Focus of the Cargo Carrier | Iss. 5 (96) pp. 164–172 |
| <i>Zhukov, V. E.</i> Frequent Flyer Cost Estimation | Iss. 4 (95) pp. 231–236 |
| ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL | |
| <i>Alekseev, N. Yu., Zyuzin, P. V.</i> Assessment of Applicability of Wi-Fi Analytics in Studies of Urban Public Transport Passenger Flow (Moscow Case Study) | Iss. 3 (94) pp. 196–208 |
| <i>Enin, D. V.</i> Approaches to Determining the Regular Transit Route Duplication Level | Iss. 1 (92) pp. 220–228 |
| <i>Kochneva, D. I., Sizi, S. V., Chang, Hao.</i> Methodology for Optimal Placement of Containers in Trains in Case of Cargo Operations Along the Route | Iss. 1 (92) pp. 184–193 |
| <i>Koshcheeva, E. O., Lyapina, S. Yu.</i> Problems of Decision-Making in Implementation of Technological Innovations in Transport Industry | Iss. 4 (95) pp. 248–257 |
| <i>Larin, O. N.</i> Structural and Content Characteristic of the Object of Combined Transport | Iss. 2 (93) pp. 226–234 |
| <i>Levin, D. Yu.</i> Optimising Train Speed | Iss. 6 (97) pp. 199–216 |
| <i>Mekhedova, E. A.</i> Analysis of Influence of Number of Station Stops on Punctuality of Passenger and Suburban Trains | Iss. 1 (92) pp. 146–155 |



Mikryukov, K. S.

Features of Methods for Assessing the Long-Term Traffic Intensity
in the Design of Toll Roads

Iss. 6 (97) pp. 188–193

Myachin V. N., Akhmetov L. R., Shulyaev V. V., Kondrashkin M. G.

Features of Development of Route Networks of Public Urban Passenger
Transport in Russian Monotowns: the Case of the City of Nizhnekamsk

Iss. 5 (96) pp. 218–224

Nechitaylo, N. M.

A Type of Transportation Problem to be Solved Following the Time
Criterion and Considering Vehicle Features

Iss. 3 (94) pp. 216–222

Pashkova, T. N., Filippova, N. A., Pozdnyak, A. N.

International Transportation of Heavy and Oversized Cargo:
Example of Haulage of Components of Wind Power Plant

Iss. 1 (92) pp. 165–173

Pobedinsky, A. A.

The Project of Organizing Non-Stop Traffic
at T-Intersections (Tyumen Case Study)

Iss. 2 (93) pp. 221–225

Poleshkina I. O., Lutin A. N.

Development of Transport Accessibility and Transport
Connectivity of the Black Sea Coast to Increase Mobility
of Population and Develop Tourism

Iss. 5 (96) pp. 210–217

Poleshkina, I. O.

Transport System of the Republic of Sakha (Yakutia):
Analysis of the State and Development Challenges

Iss. 4 (95) pp. 238–247

Poliak, M., Lakhmetkina, N. Yu.

Neutralization of Transport Documents in Road Transport

Iss. 2 (93) pp. 212–220

Ponomarev M. L., Fillipova N. A., Velikanov A. Yu., Neretin A. A.

Main Factors Affecting the Multimodal Transport System

Iss. 5 (96) pp. 196–201

Popov, A. T., Suslova, O. A., Kobernitsky, A. A., Khmelev, A. S.

Improving Information Interaction between
the Metallurgical Plant and Rail Operators

Iss. 4 (95) pp. 266–272

Salomzoda, R. S., Boboev, M. M.

Analysis of Passenger Flows Served
by Bus Routes in the city of Khujand

Iss. 3 (94) pp. 209–215

Salomzoda, R. S., Boboev, M. M.

Analysis of the Passenger Transportation in the City of Khujand
and the Prospects for its Development

Iss. 6 (97) pp. 194–198

Trofimova L. S., Trofimov B. S., Yankevich N. V.

Scheduling of Vehicle Fleet of Oil Products in Intercity Traffic

Iss. 5 (96) pp. 202–209

Tulupov A. V., Beloshitsky A. V., Shitov E. A., Shitova Yu. A.

Innovative, Scientific and Technological Priorities of Railway Freight Transport

Iss. 5 (96) pp. 186–195

Zheleznov, M. M., Karasev, O. I., Rakov, D. A., Shitov, E. A.

Assessment of Drivers and Deterrents of Development of High-Speed
Passenger Railway Transportation

Iss. 4 (95) pp. 258–265

Zheleznov, M. M., Karasev, O. I., Trostyansky, S. S., Smirnov, R. G.

High-Speed Passenger Railway Transportation: Priority
for Long-Term Development

Iss. 1 (92) pp. 202–209

SAFETY AND SECURITY

| | |
|---|-------------------------|
| <i>Burak, V. E.</i> Noise as a Criterion for Designating Sanitary Protection Zones of Traffic Arteries | Iss. 4 (95) pp. 282–286 |
| <i>Dmitrenko, A. V., Kolpakov, M. I.</i> Analysis of the Issue of Recovery of Low-Potential Energy at Small-Scale Energy Facilities | Iss. 2 (93) pp. 242–248 |
| <i>Mishina, D. Yu.</i> Living Snow Fences: International Practices | Iss. 2 (93) pp. 236–241 |
| <i>Neuzorava, A. B., Skirkovsky, S. V.</i> Face Masks as a Factor in Eventuality of Changes in Driving Safety | Iss. 4 (95) pp. 274–281 |
| <i>Nezevak, V. L.</i> Increasing the Efficiency of Recuperation Through the Use of Energy Storage Systems for the Own Needs of Traction Substations | Iss. 3 (94) pp. 224–237 |
| <i>Osintsev, N. A.</i> Multi-Criteria Decision-Making Methods in Green Logistics | Iss. 5 (96) pp. 231–240 |
| <i>Popov, A. V.</i> Study on Risk Tolerance of Passenger Car Drivers Aged 18–25 | Iss. 3 (94) pp. 238–244 |
| <i>Sladkova, L. A., Kuznetsov, Ph. A.</i> Research on the Nature of Tower Crane Metal Structures Loading | Iss. 5 (96) pp. 226–230 |

HRM, EDUCATION & TRAINING

| | |
|---|-------------------------|
| <i>Fedyakin, A. V., Medvedev, S. V., Tantsevova, A. V.</i> At the Forefront of Transport Education and Industrial Science in Russia: the 125 th Anniversary of Russian University of Transport | Iss. 3 (94) pp. 246–255 |
| <i>Gruver, N. V., Zemlina, O. M., Nazarova, R. K.</i> Volunteering to Help People with Disabilities and Less Mobile People in Transport Higher Education Institutions | Iss. 1 (92) pp. 253–258 |
| <i>Kovalenko, N. I., Buchkin, V. A., Bykov, Yu. A., Grin, E. N.</i> Application of Digitalisation in Staffing Planning for Railway Infrastructure Maintenance | Iss. 2 (93) pp. 258–263 |
| <i>Nikitin, V. N., Kalashnikov, M. Yu., Litvinova, O. S.</i> Labour Rate Setting for Transport Company’s Managers Based on the Principles of Organisation Design | Iss. 2 (93) pp. 250–257 |
| <i>Platonova, O. A., Pugina, L. V.</i> Between Mathematics, Railways and Literature... | Iss. 3 (94) pp. 256–264 |
| <i>Smyk, A. F., Tkacheva, T. M., Timofeeva, G. Yu.</i> Experience of Using Online Technologies in Transport Education | Iss. 1 (92) pp. 238–245 |

HISTORY WHEEL

| | |
|---|-------------------------|
| <i>Levin, D. Yu.</i> Gold Buckle of the Steel Belt of Russia. To the 120 th Anniversary of the Circum-Baikal Railway | Iss. 1 (92) pp. 266–271 |
| <i>Levin, D. Yu.</i> The First Main Line in Russia | Iss. 2 (93) pp. 266–278 |





Levin, D. Yu.

Russian Metropolitan Railway Stations
as Historical Architectural Masterpieces

Iss. 4 (95) pp. 288–303

Razuvaev, A. D.

The History of Development of Inland Transport Infrastructure:
Technology and Economic Aspects. Part 1

Iss. 6 (97) pp. 218–227

Roschevskaya, L. P., Roschevsky, M. P.

Post-war Projects of Academician V. N. Obraztsov for Development
of Transport in the European North of the USSR

Iss. 3 (94) pp. 266–274

PRESS ARCHIVES

Savva I. Mamontov on the Railway Industry in Russia

Iss. 1 (92) pp. 276–278

Self-Propelled Cars on Russian Railways

Iss. 5 (96) pp. 245–246

Struve, O. A.

Report of O. A. Struve, Candidate for the Chairmanship of VIII Department. Part 1

Iss. 4 (95) pp. 304–306

Struve, O. A.

Report of O. A. Struve, Candidate for the Chairmanship of VIII Department. Part 2

Iss. 5 (96) pp. 242–244

Technical Railway Schools and Railway Trade Courses

Iss. 3 (94) pp. 275–278

The Greatest Passenger Steam Locomotive in the World

Iss. 2 (93) pp. 279–280

Verkhovsky, N. P.

About the Book «Railway Confusion» by N. P. Verkhovsky. Part 1

Iss. 6 (97) pp. 228–240

BIBLIO-DIRECTIONS

Damaskin, O. V.

Organisational and Legal Problems in Transport Industry during a Pandemic

Iss. 3 (94) pp. 280–282

Efanov, D. V.

Review of the Book «Synthesis of Systems of Train Traffic Control
at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures»

Iss. 5 (96) pp. 248–250

Materials of the Bulletin of the OSJD published in the second half 2021

Iss. 6 (97) pp. 242–244

Matrosova, A. Yu.

Review of the book «Proceedings on the Self-Checking Embedded Control
Circuits Synthesis Theory Based on Binary Redundant Codes»

Iss. 2 (93) pp. 282–285

Sharov, V. A.

Decision-Making Optimisation in Traffic Control Management

Iss. 1 (92) pp. 282–283

Sudakov, M. A.

The Book about Igor Sikorsky

Iss. 4 (95) pp. 308–310

EXPRESS-INFORMATION

ICAO: Runway Safety Training

Iss. 2 (93) pp. 264

ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D.

Iss. 1 (92) pp. 289–293, Iss. 2 (93) pp. 286–290, Iss. 3 (94) pp. 283–287,

Iss. 4 (95) pp. 311–315, Iss. 5 (96) pp. 251–255, Iss. 6 (97) pp. 245–248

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Iss. 1 (92) pp. 295–296, Iss. 2 (93) pp. 291–292, Iss. 3 (94) pp. 288,

Iss. 4 (95) pp. 316, Iss. 5 (96) pp. 256, Iss. 6 (97) pp. 249–250

TRANSPORT STRATEGY OF THE RUSSIAN FEDERATION UNTIL 2030 WITH A FORECAST FOR THE PERIOD UP TO 2035

The meeting of the Government of the Russian Federation held on November 26, 2021, approved the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Earlier, on October 19, 2021, at a meeting of the Presidium of the State Council, the Strategy developed by the Ministry of Transport of Russia was approved by the President Vladimir Putin.

As the Chairman of the Government of the Russian Federation Mikhail Mishustin emphasised, the Strategy fully considers all the tasks set by the President of Russia to accelerate the socio-economic development of the country and achieve national goals. «The priority of the state is to improve the quality of life of citizens. To this end, we will actively develop urban mass transit and suburban passenger transportation, so that people spend as little time as possible on their way to work and back home, and trips are comfortable and safe», the head of Government stated.

He also noted the importance of ensuring high connectivity and transport accessibility throughout the country, including the Arctic zone and the Far East. The corresponding instruction was given by the head of state. «We have foreseen in the Strategy the relevant benchmarks for a ten-year period, so that the door-to-door trip between any two major cities does not exceed 12 hours. This will also support domestic tourism», said Mikhail Mishustin. «To do this, a modern backbone transport network will be formed throughout the country, the infrastructure and transport fleet will be updated, primarily at the expense of domestic models. High-speed highways and railways will be built. The large-scale upgrade of the airfield infrastructure will also affect more than 100 airports. Besides, we will move on to more active use of inland waterways».

As the Minister of Transport Vitaly Savelyev noted in his speech, the document was developed in parallel with the development of initiatives for the socio-economic development of the Russian Federation until 2030. «We used the experience and data gained during the strategic sessions when writing the Strategy and shaping the image of the

future of the industry», Vitaly Savelyev highlighted.

The Strategy considers the most important global trends, including decarbonisation and «green» transport, as well as the transition to new energy sources. For the first time, a block on digital transformation was singled out as the most important tool for achieving goals. «Digitalisation will allow to achieve a reduction in costs and an increase in labour productivity by at least 2 times in the transport industry», the head of the Ministry of Transport emphasised.

Criteria for assigning relevant infrastructure facilities to the Single Backbone Transport Network for all modes of transport have also been developed to create multimodal synergy. The goal of the Single Network development is to make the condition of 85 % of the network compliant by 2035 with standards and to eliminate bottlenecks.

A core objective of the Strategy is to increase the mobility of the population by 80 % through measures of public support, development of low-budget transportation, and other tools. «Thanks to the development of infrastructure and related measures, we will be able to accelerate the movement of goods within the country's transport system. Within the framework of the Strategy, by 2035, a fourfold increase in the speed of movement of non-primary cargo is predicted, up to 1,000 km per day, using container trains», the Minister outlined.

The next step will be the development of a plan for the implementation of the Strategy and the General Scheme for the Development of the Single Backbone Transport Network. «The coronavirus pandemic has demonstrated that supply chains and the transport system should be able to adapt to changing market conditions. Therefore, the Strategy will be updated on a regular basis», Vitaly Savelyev concluded.

**Compiled from the news released
by the Ministry of Transport
of the Russian Federation:
[https://mintrans.gov.ru/press-center/
news/10118](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10118) ●**



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 19, Iss. 6, 2021

Editor-in-Chief **Boris Lyovin**

For your letters:

Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel. +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:
127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет
транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: (495)6842877

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >