

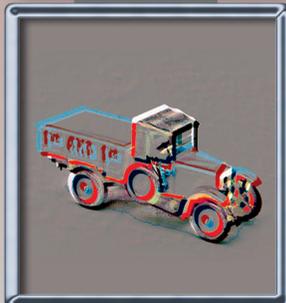
T

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

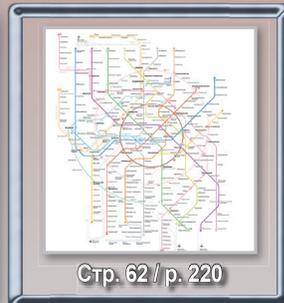
WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

4 2021
Том / Vol. 19



МЕТРО В СОСТАВЕ
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ
ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ

METRO AS PART
OF MULTIMODAL
URBAN ROUTES



Стр. 62 / p. 220



Фото: stroi.mos.ru

НОВУЮ СТАНЦИЮ МЕТРО СОКОЛЬНИКИ УКРАСЯТ В ЧЕСТЬ ПЕРВЫХ МЕТРОСТРОИТЕЛЕЙ

В столичной подземке она станет первой, посвящённой метростроителям, отметил заместитель мэра Москвы Андрей Бочкарёв. «Строительство первой очереди метрополитена стало важным событием в развитии общественного транспорта Москвы, и декоративно-художественное оформление станции «Сокольники» как раз посвящено первым станциям столичной подземки, – сказал заммэра. – На путевых стенах, балконах и потолках разместят алюминиевые панели с изображением исторических фотографий и плакатов 40–50-х годов».

Всего на путевых стенах появится 327 панелей. Общая площадь смонтированной картинкой составит 490 квадратных метров. Отличительной особенностью станции «Сокольники» станет

огромное декоративное панно в стиле знаменитых художников и архитекторов-авангардистов, среди которых родоначальники русского конструктивизма и супрематизма Казимир Малевич, Владимир Татлин и Эль Лисицкий. Картина займёт одну из путевых стен и часть потолка.

«В октябре Мосметрострою исполнится 90 лет, именно с этой организации и началась история подземки», – отметил также Сергей Жуков, генеральный директор Мосметростроя.

На основе материалов Департамента строительства города Москвы: <https://stroimos.ru/news/na-stantsii-sokol-niki-bkl-mietro-nachalsia-montazh-diekorativnykh-panieliei-fotografii>: stroi.mos.ru ●

NEW SOKOLNIKI STATION WILL BE DECORATED TO COMMEMORATE FIRST METRO CONSTRUCTION WORKERS

This station will be the first one dedicated to metro construction workers, Deputy Mayor of Moscow Andrei Bochkarev said. «The construction of the first stage of the metro was an important event in the development of public transport in Moscow, and the decorative and artistic design of the Sokolniki station is dedicated to the first stations of the capital's subway», the deputy mayor said. «Aluminum panels depicting historical photographs and posters of the 1940s and 1950s will be placed on the station's walls, balconies and ceilings».

In total, 327 panels will appear on the walls. The total area of the mounted picture will be 490 square meters. The feature of the Sokolniki station will be a huge decorative panel in the style of

famous avant-garde artists and architects, including such founders of Russian constructivism and suprematism as Kazimir Malevich, Vladimir Tatlin and El Lissitzky. The painting will occupy one of the walls and part of the ceiling.

«In October, Mosmetrostroy will celebrate its 90th anniversary, the history of Moscow metro started with its creation», said Sergey Zhukov, general director of Mosmetrostroy [Moscow Metro Construction Works].

Compiled based on the materials of the Construction Department of the city of Moscow: <https://stroimos.ru/news/na-stantsii-sokol-niki-bkl-mietro-nachalsia-montazh-diekorativnykh-panieliei>, photo: stroi.mos.ru ●

Фото на первой обложке: Центр по связям с общественностью РУТ (МИИТ), М. Денисов, mos.ru, ГУП «Московский метрополитен», <https://mosmetro.ru/metro-map/>. Front cover photos: Centre of public relations of Russian University of Transport, M. Denisov, mos.ru, Moscow Metro, <https://mosmetro.ru/metro-map/>.

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

4²⁰²¹
(95)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Левин – 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. Лapidус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- Пётр КОЗЛОВ, Сергей ВАКУЛЕНКО, Валерия КОЗЛОВА, Надежда ЕВРЕЕНОВА*
О принципах расчёта транспортных узлов. 6
- Любовь СЛАДКОВА, Алексей НЕКЛЮДОВ*
Динамика подвижного состава и выбор параметров гасителей колебаний. 13

НАУКА И ТЕХНИКА

- Николай КВАШНИН, Иван БОНДАРЬ, Михаил КВАШНИН*
Методики обработки экспериментальных данных мониторинга состояния мостовых конструкций. 22
- Игорь ЧЕРНЯЕВ, Сергей ЕВТЮКОВ*
Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков. 34
- Максим СТЕКОЛЬНИКОВ, Людмила МИЛОВАНОВА, Ирина ЧЕЛЫШЕВА*
Моделирование механизмов как методический инструмент (на примере проектирования циклоидально-цевочной передачи) . . . 40

ЭКОНОМИКА

- Ольга МАТАНЦЕВА, Иван КАЗАНЦЕВ, Михаил НИЗОВ, Иосиф СПИРИН*
Методические основы расширенного воспроизводства автотранспортных средств. 48
- Андрей АКИМОВ, Галина БУБНОВА*
Логистика пассажирских перевозок на общественном транспорте для условий цифровой трансформации систем организации транспортного обслуживания. 62
- Василий ЖУКОВ*
Оценка стоимости часто летающего пассажира. 74

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Ирина ПОЛЕШКИНА*
Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития. 82

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

Екатерина КОЩЕЕВА, Светлана ЛЯПИНА

Проблемы принятия решений о реализации технологических инноваций на транспорте 92

Максим ЖЕЛЕЗНОВ, Олег КАРАСЕВ,

Дмитрий РАКОВ, Егор ШИТОВ

Оценка драйверов и сдерживающих факторов развития высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок 102

Алексей ПОПОВ, Ольга СУСЛОВА,

Артем КОБЕРНИЦКИЙ, Артем ХМЕЛЕВ

Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний 110

БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Алла НЕВЗОРОВА, Сергей СКИРКОВСКИЙ

Лицевые маски как фактор эвентуальности изменений безопасности вождения 118

Василий БУРАК

Шум как критерий формирования санитарно-защитных зон транспортных магистралей 126

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Дмитрий ЛЕВИН

Исторические архитектурные шедевры – российские столичные железнодорожные вокзалы. 132

Пресс-архив

О. А. СТРУВЕ

Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 1 149

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Михаил СУДАКОВ

Книга об Игоре Сикорском 154

Авторефераты диссертаций 158

Новые книги о транспорте 164

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

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://mir.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, Library of Congress, WorldCat.org.



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 19²⁰²¹
Iss. 4

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. Kuanyshv, 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

- Petr A. KOZLOV, Sergey P. VAKULENKO,
Valeria P. KOZLOVA, Nadezhda Yu. EVREENOVA*
On the Principles of Design of Transport Nodes 166
- Lyubov A. SLADKOVA, Alexey N. NEKLYUDOV*
Dynamics of the Rolling Stock and the Choice
of Parameters of Vibration Dampers..... 173

SCIENCE AND ENGINEERING

- Nikolay M. KVASHNIN, Ivan S. BONDAR, Mikhail Ya. KVASHNIN*
Techniques for Processing Experimental Data
for Structural Health Monitoring of Bridges 182
- Igor O. CHERNYAEV, Sergey A. EVTYUKOV*
Using In-Vehicle Monitoring Data to Assess Road
Conditions of Traffic Flows 194
- Maxim V. STEKOLNIKOV, Lyudmila R. MILOVANOVA,
Irina A. CHELYSHEVA*
Modelling of Mechanisms as a Methodological Tool
(the Case of Designing a Cycloidal Pin Transmission) 200

ECONOMICS

- Olga Yu. MATANTSEVA, Ivan S. KAZANTSEV,
Mikhail A. NIZOV, Iosif V. SPIRIN*
Methodological Foundations of Renewal
and Expansion of Car Fleet..... 208
- Andrey V. AKIMOV, Galina V. BUBNOVA*
Public Passenger Transport Logistics in the Context
of Digital Transformation of Transportation Services
Organisation Systems 220
- Vasily E. ZHUKOV*
Frequent Flyer Cost Estimation 231

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

- Irina O. POLESHKINA*
Transport System of the Republic of Sakha (Yakutia):
Analysis of the State and Development Challenges 238

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.

Ekaterina O. KOSHCHEEVA, Svetlana Yu. LYAPINA

Problems of Decision-Making in Implementation
of Technological Innovations in Transport Industry 248

*Maxim M. ZHELEZNOV, Oleg I. KARASEV,
Dmitry A. RAKOV, Egor A. SHITOV*

Assessment of Drivers and Deterrents of Development
of High-Speed Passenger Railway Transportation 258

*Alexey T. POPOV, Olga A. SUSLOVA,
Artem A. KOBERNITSKY, Artem S. KHMELEV*

Improving Information Interaction between
the Metallurgical Plant and Rail Operators 266

SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION

Alla B. NEUZORAVA, Sergey V. SKIRKOVSKY

Face Masks as a Factor in Eventuality of Changes
in Driving Safety 274

Vasily E. BURAK

Noise as a Criterion for Designating Sanitary
Protection Zones of Traffic Arteries 282

HISTORY WHEEL

Dmitry Yu. LEVIN

Russian Metropolitan Railway Stations
as Historical Architectural Masterpieces 288

News from the archives

O. A. STRUVE

Report of O. A. Struve,
Candidate for the Chairmanship of VIII Department. Part 1 304

BIBLIO-DIRECTIONS

Mikhail M. SUDAKOV

The Book about Igor Sikorky 308

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 311

New Books on Transport and Transportation 316

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

95 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 ✉.

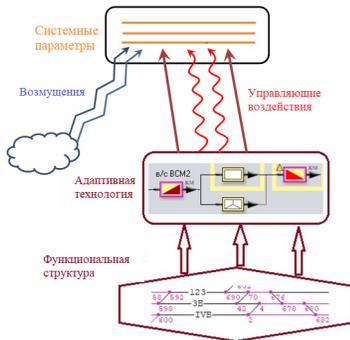
The open accessed full texts of the articles, editorial politics and guidelines for the authors are available at the Website of the journal at <https://mirtr.elpub.ru/jour> (both in Russian and English). The authors can submit their articles either in Russian or in English. The journal uses double-blind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

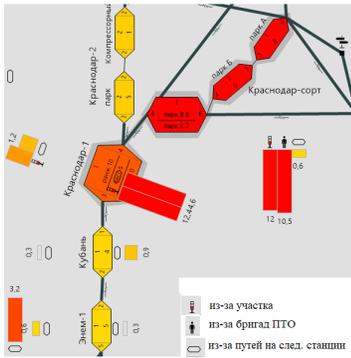
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

T



ТРАНСПОРТНЫЕ УЗЛЫ 6

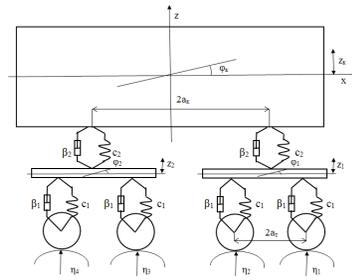
Предлагаемый системный подход позволяет прийти к новым определениям связанных с транспортными узлами понятий и их классификации.



ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ 13

Определение рациональных параметров гасителей колебаний вагонов на основе математических и физических моделей. Подходы, модели, формулы, примеры расчётов. Конечная цель – комфорт пассажиров и сохранность грузов.

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.21

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-1>

О принципах расчёта транспортных узлов



Пётр КОЗЛОВ



Сергей ВАКУЛЕНКО



Валерия КОЗЛОВА



Надежда ЕВРЕЕНОВА

*Пётр Алексеевич Козлов¹, Сергей Петрович Вакуленко²,
Валерия Петровна Козлова³, Надежда Юрьевна Евреенова⁴*

¹ Научно-производственный холдинг «Стратег», Москва, Россия.

^{2, 3, 4} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ⁴ nevreynova@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Представлена разработанная авторами методология построения, расчёта и оптимизации транспортных узлов. Основным методом является оригинальный системный подход. Использование этой методологии даст возможность более рационально строить транспортные узлы и более корректно оценивать проекты их развития.

«Система» понимается как общеприродная форма построения организованной материи, которая даёт возможность ей устойчиво функционировать в изменчивой среде. Основные принципы формулируются следующим образом: система состоит из элементов, каждый из которых тоже является системой; в системе развито активное самоподдержание, то есть активные действия, противодействующие внешним неблагоприятным воздействиям; показано, что самоподдержание обеспечивается адаптивностью, в транспортных системах – адаптивной технологией.

Возникает противоречие (диалектическое): с одной стороны, элементы – это самостоятельные системы, имеющие свои системные параметры и механизмы активного их поддержания, а с другой, они – подчинённые создания, способные гибко изменять свою работу для поддержания параметров надсистемы. Необходимо найти гармонию между уровнями развития этих противоположных свойств. С этих системных позиций рассматриваются и транспортные узлы. Приводится ряд определений узлов, ранее предложенных ведущими российскими учёными. Показано их противоречие с предлагаемым новым системным подходом.

Приводится системное определение узла как совокупности станций. Дается новая классификация транспортных узлов. Формулируются критерии рационального построения их в зависимости от классов, приводятся принципы корректного расчёта и оптимизации.

Ключевые слова: транспортный узел, система, имитационная модель, станция, адаптивность, технология, расчёт, оптимизация.

Для цитирования: Козлов П. А., Вакуленко С. П., Козлова В. П., Евреенова Н. Ю. О принципах расчёта транспортных узлов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В статье представлены результаты решения задачи разработки теоретических основ построения эффективных транспортных узлов, а также корректных методов их расчёта и оптимизации. Теоретической основой является оригинальный вариант *системного подхода*, где «система» понимается как природная форма построения организованной материи, которая обеспечивает ей устойчивое и эффективное функционирование в случайной среде.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Системный подход и транспортные узлы

Корректное понимание сущности транспортных узлов и методов их расчёта имеет большое значение в условиях развития транспортной инфраструктуры.

Принципы расчёта – это метод расчёта, а выбор метода – задача непростая.

По мнению Гегеля, «метод... есть не внешняя форма, а душа и понятие содержания» [1, с. 423].

Не менее авторитетная точка зрения у А. И. Герцена: «Метода в науке важнее всякой суммы знаний». «Метода вытекает из объекта, а не привносится к нему произвольно» [2, с. 134, 155].

Таким образом, чтобы выбрать принципиально новые подходы к расчёту транспортных узлов, надо ответить на вопрос: что такое транспортный узел?

Определения этого объекта содержатся в ряде исследований транспортной науки.

Академик В. Н. Образцов писал: «Железнодорожным узлом называется пункт, где соединяются между собой не менее трёх железно-

рожных линий (трёх направлений), относительно равнозначного магистрального характера, и где имеется одна или несколько распорядительных станций и происходит передача пассажирских и товарных поездов и вагонов, а также пересадка пассажиров и перевалка грузов на другие виды сообщений: водный, шоссейный, узкоколейный и т.д.» [3, с. 7].

Узлом здесь называется «пункт», в котором есть пересекающиеся линии и хотя бы одна станция. Как одна станция может быть узлом? А это вытекает из наличия пересекающихся линий (рис. 1). Это определение геометрического характера. Термин «пункт» потом стал популярным.

В. Н. Образцов давал следующее определение для транспортного узла: «Транспортный узел есть пункт пересечения и разветвления трасс различных видов транспорта» [4, с. 433].

Профессор П. В. Бартнев считал, что... «транспортный узел представляет собой пункт сосредоточения различных видов транспорта» [5, с. 452].

Профессор В. А. Персианов отмечал, что, хотя приведённые определения в основе и правильны, но они недостаточны, так как не отражают полностью всего существа транспортного узла, а в классификации транспортных узлов больше случайного, чем закономерного [6, с. 355].

В Институте комплексных транспортных проблем (находившемся в тот период в составе Академии наук) появилось более содержательное определение: «Транспортным узлом называется комплекс транспортных устройств в пункте стыка нескольких видов

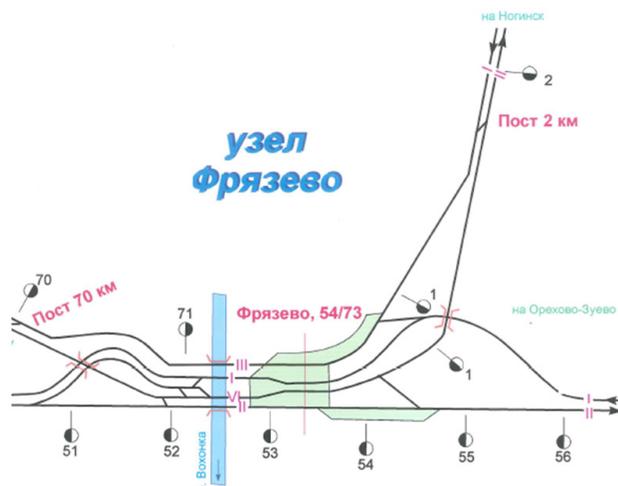


Рис. 1. «Узел» из одной станции (альбом схем железнодорожных узлов и станций, разработанных АО «ИЭРТ»).





транспорта (в том числе не менее двух видов магистрального транспорта), совместно выполняющих операции по обслуживанию транзитных, местных и городских перевозок грузов и пассажиров» [7, с. 181].

Но опять «стык», да и устройства вряд ли можно считать чем-то определённым.

В недавно вышедшей работе по узлам говорится следующее: «Железнодорожным узлом называется пункт пересечения или примыкания нескольких линий, объединяющих ряд связанных соединительными ходами станций и отдельных пунктов, работающих по единой технологии (во взаимодействии). В состав железнодорожного узла входят сортировочные, грузовые и пассажирские станции с их устройствами; главные и соединительные пути; посты и обходы; подъездные пути; все виды путепроводных развязок, расположенных в границах узла; самостоятельные производственные единицы железнодорожного транспорта (заводы, тяговые подстанции, материальные склады и др.)» [8, с. 787].

Здесь в пресловутый «пункт» входят не только «станции и заводы», но и «соединительные пути, посты и обходы, и все виды путепроводных развязок».

Если транспортный узел – это «стык», в который входят разные «устройства», то трудно определить содержание этого понятия, а, значит, трудно выбрать и адекватный метод расчёта.

Несколько десятилетий назад учёными разных специальностей широко обсуждался так называемый «системный подход». Термин «системный» часто употребляется в различных словосочетаниях и контекстах: «рассматривать с системных позиций, проблемы имеют системный характер» и др. Есть даже целый институт системных исследований. Может, стоит и транспортный узел рассматривать с системных позиций?

Посмотрим, что понимается в науке под понятием «система».

Основываясь на работах Ф. Энгельса [9, с. 392, 550, 563, 570, 585], философ А. Н. Аверьянов предложил следующее определение: «Система есть ограниченное множество взаимодействующих элементов» [10, с. 18, 24].

Математик Н. Н. Моисеев считал, что «понятие «система» относится к числу тех, для которых трудно дать аккуратное определение.

Для наших целей достаточно того интуитивного понятия системы, которое имеется у каждого, изучающего предмет» [11, с. 130].

Но целая наука – теория систем – не может строиться на интуитивном понятии.

Есть и такие подходы, когда к системам относят слишком широкие классы объектов. Вот что пишет, например, в упомянутой работе А. Н. Аверьянов: «...неорганизованные совокупности... являются системами, хотя и не целостными...». И далее: «...неорганизованная совокупность состоит из элементов; элементы данной совокупности определённым образом связаны между собой, неважно, что эта связь носит внешний или случайный характер; ... важно, что она объединяет элементы в совокупность определённой формы, которую мы называем кучей, грудой, толпой и т.д. в зависимости от качества входящих в неё элементов и тех связей между элементами, которые отличают данную совокупность от окружающей её среды» [10, с. 21–22].

Но если в одно понятие входит, скажем, и транспортный узел, и куча камней, то какое содержание может иметь теория, построенная на этом понятии?

Довольно распространено мнение, что общепринятого определения понятия «система» не существует. Естественно, нет определённости и в том, какие задачи должна решать теория.

Академик А. И. Берг высказывал такое мнение: «Несмотря на широкое распространение понятия «система», до настоящего времени не существует общепринятого его определения» [12, с. 68].

В какой-то мере и сейчас продолжают попытки коснуться этой проблемы, но без выхода за пределы обычного определения понятия «система». Например, в [13] авторы пишут: «Система – настолько общее понятие, что дать ему универсальное для всех случаев жизни определение очень трудно. Системы бывают простыми, сложными и сверхсложными и др. Простая – обыкновенный оконный затвор. Сложная – персональный компьютер. Сверхсложная – экономика пассажирских перевозок».

Когда равноценными понятиями являются и «оконный затвор», и «экономика пассажирских перевозок», то теоретической основой этот подход вряд ли может являться.

Как видим, с системным подходом тоже не всё в порядке.

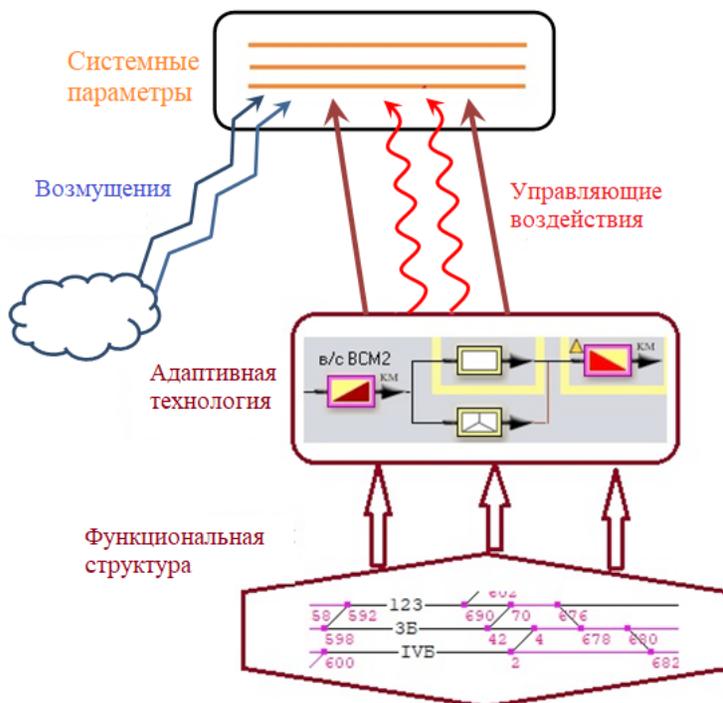


Рис. 2. Основные признаки системного построения объекта (выполнено авторами).

Новый подход к этой проблеме был предложен в работах [14; 15]: «система – это целостное образование с активным самоподдержанием, при этом его элементы также являются системами». Причём здесь «активное самоподдержание» также важно, как и «целостность». Авиценна говорил, что «жизнь даётся человеку с неперменным условием каждодневно бороться за неё» [16, с. 272]. Для искусственно создаваемых систем – это главное отличие от всех других объектов (в мясорубке, велосипеде есть целостность, но нет активного самоподдержания).

То есть *система* – это форма построения организованной материи, позволяющая ей устойчиво (и эффективно, то есть без больших статических резервов, а за счёт адаптивности) существовать в среде с дезорганизацией. Такая форма была выработана природой. Эту форму надо изучить, чётко сформулировать и затем использовать для построения устойчивых и эффективных транспортных систем.

Активное самосохранение обеспечивает адаптивность. Для технических систем это будет адаптивная технология.

Из понятия системы вытекает и сущность системного анализа. Он должен использовать следующие этапы:

- определить общую функцию и параметры, её характеризующие;
- сформулировать функцию и системные параметры элементов;
- исследовать неблагоприятные воздействия на систему в целом и на её элементы как системы;
- определить механизмы активного противодействия этим дезорганизующим воздействиям.

Определения

Транспортный узел – инфраструктурно- и технологически связанная группа систем различных видов транспорта, совместно выполняющая переработку потоков в некотором районе.

Железнодорожный узел – инфраструктурно- и технологически связанная группа станций, совместно выполняющая переработку потоков в некотором районе.

Район – некоторая выделенность, целостность – в социальном (населённый пункт), промышленном (завод) или транспортном отношении. В последнем случае – это выполнение некоторой транспортной задачи по единому плану – согласованное транспортное обслуживание разнородных объектов в районе, переработка потока при передаче его с одной линии на другую и др.



*Переработка потоков:*

- расформирование и формирование составов;

- погрузка, выгрузка, перегрузка;
- посадка, высадка, пересадка пассажиров.

Признаки термина «совместно» следующие: дополнительно присутствует оперативное управление, то есть существует гибкое взаимодействие входящих в узел систем (это более высокий уровень).

Узел является системой только тогда, когда есть общая функция для узла в целом и есть параметры, характеризующие функцию и механизмы активного их поддержания при наличии возмущающих факторов (рис. 2). Иначе – это не система.

В зарубежной практике выделим следующие работы как примеры исследований, посвящённых анализу и расчёту транспортных узлов, железнодорожных станций, полигонов [17–21].

Итак, что характеризует систему:

- *есть общая функция и параметры*, характеризующие её, при этом для параметров существуют допустимые границы;

- *существуют разрушающие воздействия*, которые могут вывести параметры за допустимые границы;

- *на каждый набор разрушающих воздействий есть активные реакции*, нейтрализующие вредные воздействия;

- активные реакции обеспечиваются, в основном, за счёт *адаптивной технологии*;

- *структура* должна в значительной мере определяться функцией, то есть структура должна быть *функциональной*.

Отличия от существующих определений:

- здесь *узел* – это *система более высокого организационного уровня*, элементами которого являются системы предыдущего уровня, а не соединительные пути, разъезды, развязки, причалы и пр.;

- главным здесь является *характер взаимодействия* входящих в узел систем, а не его *геометрические характеристики*, которые напрямую зависят от местности и расположения обслуживаемых транспортом объектов.

С этих позиций транспортные узлы явно подразделяются на два класса:

- класс *A*, узлы являются системами;
- класс *B*, узлы не являются системами.

Значит, при исследовании узлов первого класса следует применять системный подход, а ко вторым – какую-то другую технологию.

Анализ показывает, что к классу *A* можно отнести только промышленные и припортовые транспортные узлы.

Там структура действительно является, что называется, «застывшей функцией». Эти узлы обладают функциональной целостностью, имеют общесистемную функцию и механизмы её поддержания. Сильно влияет близость к производственным грузовым фронтам.

Транзитные узлы (класс *B*) считать полноценными системами нельзя. Какая есть общая функция у узла, включающего, скажем, пассажирскую, грузовую и сортировочную станцию? Каждая станция имеет свою индивидуальную функцию, и никакого адаптивного взаимодействия между ними нет. Они, как правило, располагаются у крупного населённого пункта – иначе нет возможности найти необходимое количество работников.

Но здесь появляется другая проблема взаимодействия станций. Возникает пересечение потоков, и с ним необходимость строить дорогостоящие развязки в разном уровне.

Здесь, скорее, стоит проблема построения узла с минимальными и функциональными потерями в конкретных географических условиях. Из-за этих условий и возникают различные схемы узлов. Но некоторые принципы их рациональной организации можно сформулировать:

а) станции должны располагаться как можно ближе к обслуживаемым объектам:

$$\forall_i \forall_j |l_{ij}| \rightarrow \min,$$

где l_{ij} – расстояние i -й станции от j -го терминала;

б) инфраструктурное расположение станций должно быть таким, чтобы обеспечивались:

– минимум пересекающихся потоков:

$$\sum_i \sum_j u_{ij} = \min,$$

где i – точка начала внутриузлового потока;

j – точка пересечения;

в) минимум внутриузловых пробегов:

$$\sum_i \sum_j u_{ij} l_{ij} = \min,$$

где u_{ij} – транспортный поток между i -й и j -й станцией узла;

l_{ij} – длина пробега составов u_{ij} .

В дальнейшем вступают в силу ограничения географического характера и творчество проектировщиков.

Для расчёта транспортных узлов обоих классов следует использовать двухэтапный подход.

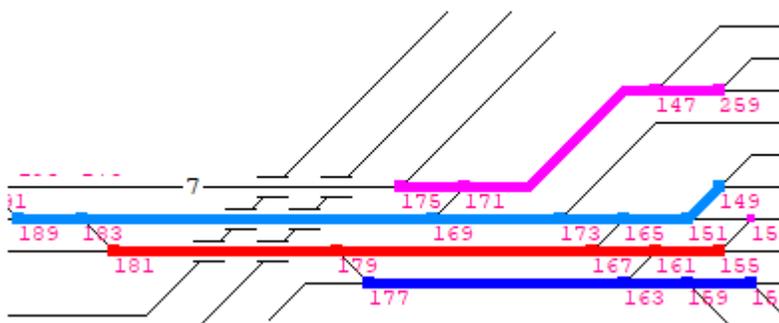


Рис. 3. Структурные каналы в горловине (выполнено авторами).

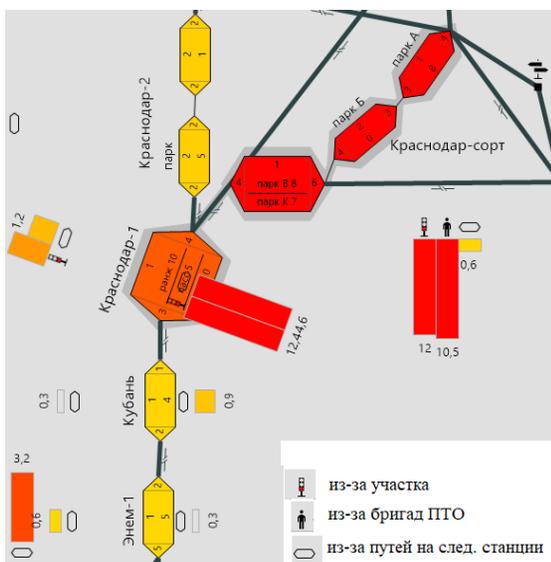


Рис. 4. Возможные причины задержек поездов на станциях узла (выполнено авторами).

Задачами первого этапа будут:

- определение общих параметров узла;
- оценка межстанционного взаимодействия, то есть структурных и функциональных связей станций;
- определение проблемных станций.

На втором этапе задачей будет детальное и всестороннее исследование проблемных станций.

Двухэтапный подход сократит затраты на исследование и ускорит весь процесс.

На первом этапе целесообразно применять укрупненное моделирование, а на втором – подробные имитационные модели.

Укрупнённое исследование можно проводить:

- на оптимизационных потоковых моделях;
- на укрупнённых имитационных моделях.

На потоковых моделях можно в общем случае решать три задачи:

- укрупнённо оценивать пропускную и перерабатывающую способность станций;
- оценивать пропускную способность и задержки в межстанционных структурных связях;

- оптимизировать процесс адаптивного взаимодействия станций (для узлов класса А).

Более полезно использовать динамические модели, например, динамическую транспортную задачу [22]. Даже для узлов класса В это важно, ибо задержки из-за пересечения потоков будут представлены в динамике. Это важно для анализа, ибо потоки, как правило, неравномерные.

Построение укрупнённой имитационной модели требует разработки специальной технологии [23]. В горловинах вместо стрелок вводятся так называемые структурные каналы, отображающие число возможных параллельных передвижений (рис. 3).





В парке вместо суммарной вместимости путей задаётся его функциональная ёмкость, то есть предельное заполнение, при котором ещё сохраняются его функциональные свойства. Достоверность макро моделирования проверена сравнительными расчётами на подробных и укрупнённых моделях [23].

Наиболее эффективным аппаратом в России можно считать в настоящее время имитационную систему ИМЕТРА [Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015662972]. Система выдаёт исчерпывающую информацию о параметрах узла, как правило, в удобном для исследователя виде (рис. 4).

Выводы

Классификация транспортных узлов с позиций нового системного подхода лучше отображает их природу.

Для расчёта транспортных узлов следует применять двухуровневый подход. На первом уровне на укрупнённых моделях исследуется межстанционное взаимодействие, на втором, на подробных моделях – проблемные станции.

Классификация транспортных узлов позволяет более обоснованно строить методы их расчёта и оптимизации. Использование их при оценке проектов инфраструктурного развития принесет существенный эффект.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гегель. Энциклопедия философских наук. – М.: Мысль, 1974. – С. 423.
2. Герцен А. И. Письма об изучении природы. – М.: Госполитиздат, 1944. – С. 134–155.
3. Образцов В. Н. Железнодорожные узлы. Транзитные узлы и техника их проектирования. Труды МИИТ. – М., 1933. – С. 7.
4. Образцов В. Н., Никитин В. Д. и др. Станции и узлы / Под общ. ред. академика В. Н. Образцова: Учебник для транспортных вузов. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – 540 с.
5. Бартнев П. В. Железнодорожные станции и узлы. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 504 с.
6. Таль К. К., Земблинов С. В., Персианов В. А. Основы построения транспортных узлов. – М.: Транспорт, 1959. – 447 с.

7. Основы построения транспортных узлов. ИКТП при АН СССР, 1958. – 255 с.

8. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. – М.: ФГБОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 1086 с.

9. Энгельс Ф. Анти-Дюринг. Диалектика природы // К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения. – 2-е изд. – М.: Государственное издательство политической литературы, 1961. – Т. 20.

10. Аверьянов А. Н. Система: философская категория и реальность. – М.: Мысль, 1976. – 185 с.

11. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.

12. Берг А. И., Бирюков Б. В., Воробьев Н. Н. и др. Управление, информация, интеллект. – М.: Мысль, 1976. – 383 с.

13. Аксёнов И. М., Разумова Е. Н. Системность в маркетинге пассажирских перевозок // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 24–28. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/332/558>. Доступ 14.07.2021.

14. Козлов П. А. Системные исследования – новый подход // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 1. – С. 46–50. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_21446619_92821481.pdf. Доступ 14.07.2021.

15. Козлов П. А., Пермикин В. Ю., Кащеева Н. В. К теории транспортных узлов // Транспорт Урала. – 2013. – № 4. – С. 8–9. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_21047270_23434579.pdf. Доступ 14.07.2021.

16. Ибн Сина (Авиценна). Избранные философские произведения. – М.: Изд-во «Наука», 1980. – 366 с.

17. Carey, M., Lockwood, D. A model, algorithms and strategy for train pathing. Journal of the Operational Research Society, 1995, Vol. 46, pp. 988–1005. DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.1995.136>.

18. Jovanovich, D., Harker, P. T. Tactical scheduling of train operations: the SCAN I system. Transportation Science, 1991, Vol. 25, pp. 46–64. DOI: <https://doi.org/10.1287/trsc.25.1.46>.

19. Merkurjev, Y., Niemi, E. Modern approaches to flexible manufacturing systems simulation. Helsinki University of Technology, Control Engineering Laboratory, 1988, Report 79, 61 p.

20. Ng, A. K. Y.; Jiang, Changmin; Larson, P.; Prentice, B.; Duval, D. Transport Nodal Systems. Elsevier Inc., 2018, 204 p. ISBN 978-0-12-811067-6.

21. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems. Routledge, 2020, 480 p. ISBN 9780367364632.

22. Мишарин А. С., Козлов П. А. Двухуровневые системы оптимизации транспортных процессов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – № 8. – С. 3–9. [Электронный ресурс]: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J13660338>. Доступ 14.07.2021.

23. Козлов П. А., Колокольников В. С. Макроструктурный подход в исследовании железнодорожных станций // Транспорт Урала. – 2017. – № 2 (53). – С. 3–7. [Электронный ресурс]: <http://www.usurt.ru/transporturala/rus/magazines>. Доступ 14.07.2021. ●

Информация об авторах:

Козлов Пётр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, президент научно-производственного холдинга «Стратег», Москва, Россия, laugeat_k@mail.ru.

Вакуленко Сергей Петрович – кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, vakulenkosrp@mail.ru.

Козлова Валерия Петровна – доктор экономических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, valeriek@mail.ru.

Евреенова Надежда Юрьевна – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, levreepnova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.07.2021, одобрена после рецензирования 03.09.2021, принята к публикации 10.09.2021.



Динамика подвижного состава и выбор параметров гасителей колебаний



Любовь СЛАДКОВА



Алексей НЕКЛЮДОВ

*Любовь Александровна Сладкова¹,
Алексей Николаевич Неклюдов²*

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

✉ ¹ rich.cat2012@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

К современному железнодорожному подвижному составу предъявляются требования комфортности (максимальная скорость передвижения при минимальных колебаниях вагонов, бесшумность движения и т.п.).

Для устранения влияния динамических нагрузок подвижного состава оснащён гасителями колебаний. Целью работы является выбор параметров гасителей колебаний подвижного состава, в зависимости от его характеристик, для обеспечения показателей комфортности и безопасности передвижения пассажиров и грузов железнодорожным транспортом. Для достижения поставленной цели применялись методы математического моделирования с использованием численного программирования работы динамических систем. Показатели гасителей колебаний оценивают по результатам исследований показателей динамики подвижного состава (в частности, виброзащиты).

Для оценки динамического состояния подвижного состава применяют методы математического и физического моделирования, которые включают разработку физико-математической модели, алгоритма вычисления и программирования на ЭВМ. Исследование математической модели численными методами позволяет провести многофакторный эксперимент, используя большое число входных параметров (факторов), и выбрать оптимальные для рассматриваемых условий характеристики конструкции гасителей колебаний.

Для решения динамических задач использовалась получившая наибольшее распространение модель гармоническо-

го возмущения, задаваемого в виде синусоиды с периодом, соответствующим длине рельсового звена.

Количественная оценка процесса колебаний (частота, амплитуда) позволяет также выявлять основные процессы, протекающие в рассматриваемой системе при различных видах внешней нагрузки. Введённые допущения, связанные с жёсткостью, подвижностью и геометрической неизменяемостью системы, позволяют определить методы получения математической модели и рассматривать колебания плоскими.

Решение уравнений проводилось в пакете MathCad Prime 4.0 с использованием метода Рунге–Кутты с автоматическим выбором шага. Последующее изучение свойств динамической системы проводилось путём изменения параметра сопротивления гасителей первой ступени рессорного подвешивания, при этом фиксировались значения амплитуды колебаний системы и период.

Анализ результатов показал, что период колебаний кузова и тележек при любых изменениях параметра сопротивления гидrogасителя остаётся неизменным. При заданных показателях определены рациональные параметры сопротивления буксовых гасителей. Используемые на подвижном составе гидравлические гасители колебаний с указанными параметрами способствуют снижению износа и повреждаемости ходовых частей, улучшению плавности хода и безопасности движения, а также снижению затрат на ремонт и техническое обслуживание.

Ключевые слова: железная дорога, динамика, подвижный состав, гаситель колебаний, оценка параметров, математическая модель, колебательный процесс, амплитуда, перемещение, скорость, ускорение, движение.

Для цитирования: Сладкова Л. А., Неклюдов А. Н. Динамика подвижного состава и выбор параметров гасителей колебаний // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-2>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Для успешного продвижения товаров на мировом рынке производитель подвижного состава железнодорожного транспорта не может и не должен руководствоваться только требованиями, обусловленными техническими показателями, такими как прочность, жёсткость, устойчивость, так как предъявляются и требования комфортности (максимальная скорость передвижения при минимальных колебаниях вагонов, бесшумность движения и т. п.). Последние факторы важны и для транспортирования грузов различного назначения.

Существующие в настоящее время вагоны для перевозки пассажиров не всегда соответствуют требованиям комфортности и безопасности. Необходимо разрабатывать и создавать новые виды экипажей, которые не только бы отвечали современным мировым стандартам, но и превосходили их.

В то же время в современной научно-технической литературе (например, [1, с. 13]) основное внимание уделяется зачастую не комфортности перевозок, а их безопасности, причём эти требования в отдельных регионах или каждой стране различные. В последние годы эти требования всё чаще затрагивают пассажирские составы высокоскоростных линий. В Европе, например, они регламентируются Европейским железнодорожным агентством (ERA)¹, в США – Министерством транспорта и Федеральной железнодорожной администрацией².

Известно, что элементы конструкций подвижного состава воспринимают весовые нагрузки, а также нагрузки, возникающие в режиме неустановившегося движения (тяговые, торможения), инерционные, возникающие при движении в криволинейных участках

пути. Перечисленные нагрузки относятся к нагрузкам статического действия. В основе возникновения динамических нагрузок лежит передвижение экипажа по железнодорожному пути с геометрическими и силовыми неровностями.

Для устранения влияния динамических нагрузок современный подвижной состав оснащён гасителями колебаний. Выбор их параметров в зависимости от характеристик подвижного состава для обеспечения показателей комфортности и безопасности передвижения пассажиров и грузов железнодорожным транспортом до сих пор проводится методом подбора.

Целью работы является оценка параметров гасителей колебаний подвижного состава, в зависимости от действия динамических нагрузок с определёнными показателями. Для этого применялись численные методы математического и физического моделирования с использованием программного продукта MathCad с последующим анализом полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели динамических качеств подвижного состава

Возникающие в результате действия динамических нагрузок колебательные процессы оцениваются показателями динамических качеств (ПДК) подвижного состава. К ним относятся [2, с. 148]:

- виброзащита – степень защиты оборудования локомотива и железнодорожного пути от вибраций, возникающих при движении;
- безопасность движения – степень обеспечения безопасности при движении;
- плавность хода – степень воздействия вибраций подвижного состава на организм человека.

Эти показатели оценивают по результатам исследований динамики подвижного состава. Остановимся более подробно на основных показателях гасителей колебаний. Это:

- максимальные значения величин ускорений кузова в вертикальном и горизонтальном направлениях, \dot{q}_{\max} ;
- максимальные величины перемещений в конечных точках кузова q_{\max} , определяемые габаритами и условиями работы автосцепок;
- максимальные значения коэффициентов динамичности в горизонтальном ($K_{дг}$) и вертикальном направлениях первой ($K_{д1}$) и вто-

¹ Например, разделы B-11 Applicable national technical rules for vehicles; B-12 Vehicle authorisations в Докладе о железнодорожной безопасности и интероперабельности в Евросоюзе (Report on Railway Safety and Interoperability in the EU. European Union Agency for Railways, 2020). [Электронный ресурс]: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/safety_interoperability_progress_reports/report_on_railway_safety_and_interoperability_in_the_eu_2020_en.pdf. Доступ 17.02.2021.

² Например, Passenger Equipment Safety Standards; Standards for Alternative Compliance and High-Speed Trainsets. A Rule by the Federal Railroad Administration on 11/21/2018. [Электронный ресурс]: <https://www.federalregister.gov/documents/2018/11/21/2018-25020/passenger-equipment-safety-standards-standards-for-alternative-compliance-and-high-speed-trainsets>. Доступ 17.02.2021.

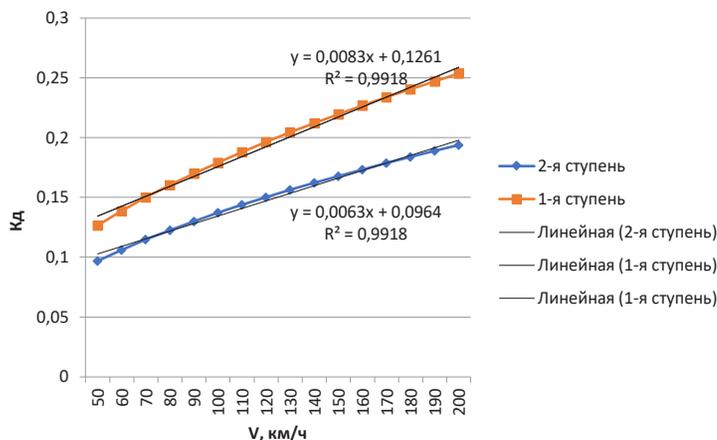


Рис. 1. Графики зависимости $K_{д1}$ и $K_{д2}$ от скорости движения экипажа V (составлено авторами).

рой ($K_{д2}$) ступеней рессорного подвешивания [2, с. 232];

- коэффициенты запаса величины прогиба пружин на динамику $K_{кз}$.

Максимальные перемещения концов кузова определяют, по известной формуле, как сумму:

$$q_{max} = 0,5(\Delta q_{2-1max} + \Delta q_{2-2max}) + a \frac{\Delta q_{2-1max} + \Delta q_{2-2max}}{2a_2},$$

где Δq_{2-1max} и Δq_{2-2max} – максимальные прогибы пружин (хода штока гидрогасителя) центрального подвешивания первой и второй тележек, соответственно;

a_2 , a_k – половина базы и длины кузова, соответственно.

Показатель горизонтальной динамики $K_{дг}$ определяется по формуле:

$$\sum F_{KY} = R_A + R_B - Q - P = -3,125 + 98,25 - 20 - 75 = 0,125 \approx 0;$$

$$K_{дг} = \frac{Y_p^{дин}}{P_0},$$

где $Y_p^{дин}$ – динамическая составляющая горизонтальной максимальной рамной силы (рамные силы – поперечные силы взаимодействия между колёсной парой и рамой тележки единицы железнодорожного подвижного состава);

P_0 – осевая нагрузка.

Изменения показателей динамики первой и второй ступеней приведены на рис. 1.

На рис. 1 видно, что зависимость показателей вертикальной динамики первой $K_{д1}$ и второй $K_{д2}$ ступени рессорного подвешивания от скорости перемещения экипажа рационально определять по линейной зависимости типа $y = ax + b$, о чём свидетельствуют величины дисперсий, которые стремятся к едини-

це для каждой полученной функции. Причём видно, что при увеличении скорости происходит снижение динамического коэффициента. Например, при скорости, равной 200 км/час, он снижается в 1,37 раза, что говорит о пересмотре параметров гидравлических гасителей для высокоскоростного подвижного состава.

Нарушение показателей плавности хода из-за действия вибраций в переходных и установившихся режимах движения негативно отражается на работоспособности машинистов, обслуживающего персонала и самочувствии пассажиров. Они оцениваются различными показателями: частотой и амплитудой колебаний.

Авторы многочисленных исследований [3, с. 1–4; 4, с. 1–3] отмечают негативное воздействие вибраций на организм человека, которое ведёт к необратимым последствиям, связанным с изменением его физического и психологического состояния, которое со временем усугубляется ввиду накопительного характера воздействия колебаний.

Методы математического и физического моделирования показателей динамического состояния подвижного состава

Для определения показателей динамического состояния подвижного состава при проектировании широко используют методы математического и физического моделирования. Метод математического моделирования включает разработку физико-математической модели, алгоритма вычисления и программирования на ЭВМ. Исследование математической модели численными методами позволяет провести большое количество численных





экспериментов с перебором (варьированием) силовых, грузовых и других параметров экипажа, условий его работы, что позволяет выбрать оптимальные для заданных (выбранных) условий параметры конструкции гасителей колебаний.

Технические задачи, связанные с колебательными процессами, основаны на составлении и решении многомассовых систем дифференциальных уравнений (ДУ), которые, как правило, решаются численными методами. Полученные в результате решения результаты позволяют получить математическую модель процесса, протекающего в системе, и оценить параметры колебательного процесса количественно. В нашем случае система дифференциальных уравнений исследуемой системы составлена на основе разработанной расчётной схемы [5, с. 17; 6, с. 125] и является двухмассовой. При разработке расчётной схемы, исходя из условий и цели исследований, были учтены внешние силы, оказывающие влияние на динамическое состояние рассматриваемого подвижного состава как технической системы.

При создании динамической модели в качестве факторов внешнего воздействия были приняты тактико-технические характеристики подвижного состава, которые в математическом выражении были представлены как «гармоническое возмущение», выраженное в виде функции синуса с аргументом, соответствующим длине рельсового звена [5, с. 17; 6, с. 125; 7, с. 192]. Такой выбор входных параметров характерен, например, при проходе одиночной неровности пути, входе в кривую, ударе на стыке рельса, соударении экипажей и др. Установлено [6, с. 131; 7, с. 214], что диссипативные характеристики подвижного состава железных дорог, к которым относятся свободные колебания, затухают в течение непродолжительного времени. Исходя из этого, определение показателей динамических качеств будем рассматривать в режиме установившихся вынужденных колебаний.

Известно [8, с. 230], что возмущения, вызывающие вынужденные колебания в подвижном составе, можно разделить на:

- кинематические;
- силовые;
- параметрические.

Кинематические возмущения возникают из-за геометрических неровностей пути

в профиле и плане, неровностей на поверхности катания колеса. Возбудителем силовых колебаний являются тяговый момент, периодические силы от дисбаланса вращающихся частей дизелей, электрических машин, компрессоров и т.п. Параметрические возмущения обусловлены изменениями какого-либо параметра системы, например, износа.

При анализе колебаний экипажа его собственные колебания можно представить в виде дифференциального уравнения второго порядка с отсутствующей правой частью:

$$M\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = 0. \quad (1)$$

Определение параметров колебательного процесса экипажа подвижного состава (собственная частота и амплитуда) позволит принять решение по выбору гасителя колебаний, сводящего сам процесс колебаний к минимуму. Поставленная задача решается при малых отклонениях системы от положения равновесия. При исследовании колебательного процесса, полученного в результате анализа рассматриваемой модели, важным показателем является устойчивость движения, которая сводится к исследованию нулевого решения системы по линеаризованным уравнениям возмущённого движения системы, что является необходимым, но недостаточным условием обеспечения устойчивой работы рассматриваемой системы. Дальнейший анализ модели в зависимости от действия внешней нагрузки в виде вынужденных колебаний позволяет определить показатели динамических качеств вагона.

Результаты практического исследования

Исследование модели проводилось на платформе программного комплекса MathCad. Полученные результаты позволяют оценить влияние изменений параметров подвешивания на колебания подвижных частей экипажа. Изменяемыми параметрами обладает скорость движения экипажа, позволяющая определить соответствующие друг другу критические скорости и максимальные перемещения в системе подвешивания. И также, изменяя параметры подвешивания, можно наметить пути уменьшения негативных явлений. Такой подход к решению задачи называют прямым моделированием [7, с. 72; 9, с. 42; 10, с. 54; 11 с. 92].

Решение дифференциальных уравнений движения экипажа численными методами

Исходные данные расчётной схемы колебаний экипажа
в вертикальной продольной плоскости

Параметр	Обозначение и размерность	Величина
Масса кузова брутто, тара	m_k , кг	40000•17000
Масса тележки (обрессоренная)	m_r , кг	7500
Момент инерции кузова: брутто тара	$J_{ку}$, кг•м ²	1,32•10 ⁶ 7,2•10 ⁵
Момент инерции тележки	$J_{тг}$, кг•м ²	1900
База кузова	$2a_k$, м	18
База тележки	$2a_r$, м	2,6
Вертикальная жёсткость первой ступени рессорного подвешивания	c_1 , кН/м	120
Вертикальное демпфирование первой ступени подвешивания	β_1 , кН•с/м	10
Вертикальная жёсткость одного рессорного комплекта второй ступени рессорного подвешивания: тара брутто	c_2 , кН/м	310 625
Вертикальное демпфирование одного рессорного комплекта второй ступени рессорного подвешивания	β_2 , кН•с/м	80
Скорость движения	V , м/с	45

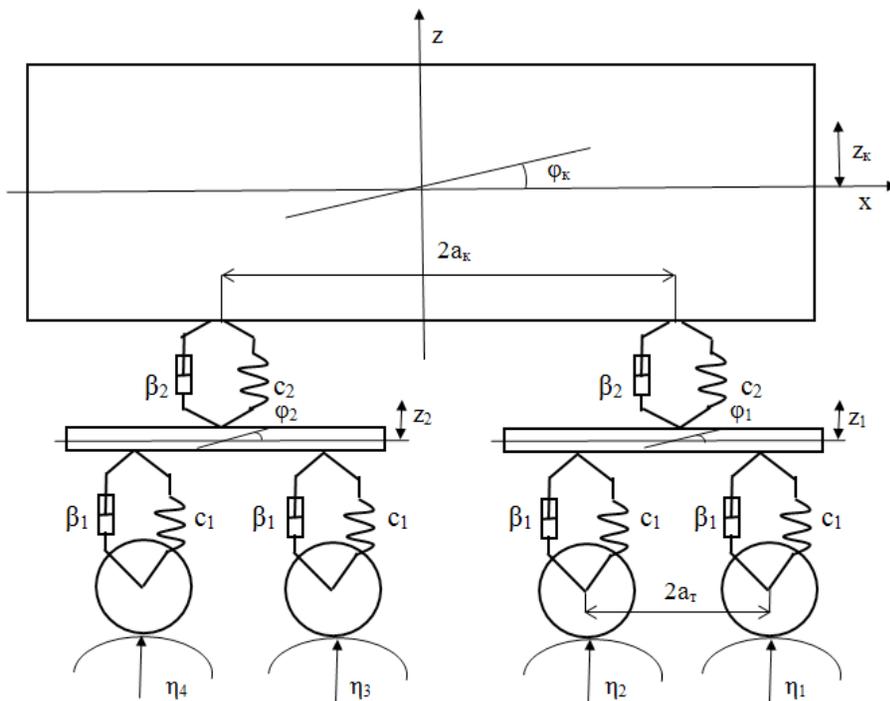


Рис. 2. Расчётная схема колебаний экипажа в вертикальной продольной плоскости [5, с. 93].

позволяет оценить основные процессы, протекающие в системе при различном сочетании внешнего воздействия. Для этого в систему вводятся нелинейные функции, не изменяющие структуру модели. Математическая модель, представленная зависимостью (1), может усложняться за счёт введения правой

части с функционалом, характеризующим колебательный процесс, что ведёт к получению новых показателей динамического движения подвижного состава.

При проведении исследований динамического режима (колебаний железнодорожного экипажа) введём следующие допущения:



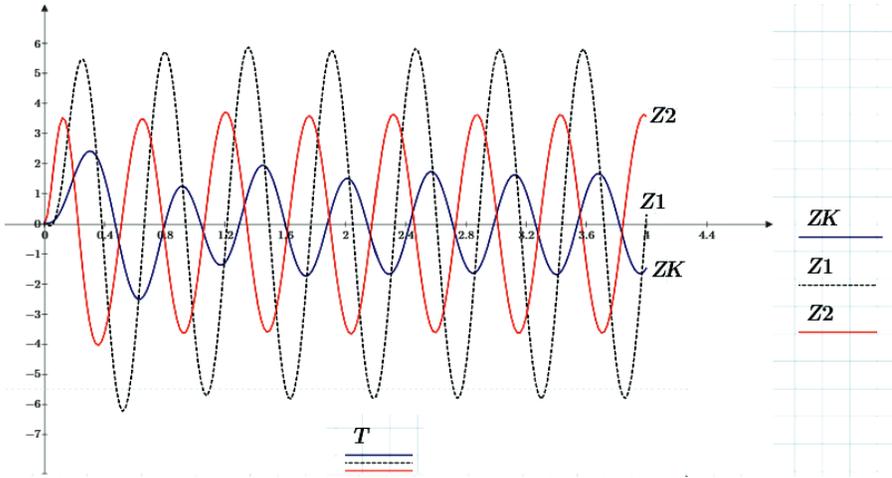


Рис. 3. Графики изменения перемещений (подпрыгивание) (составлено авторами).

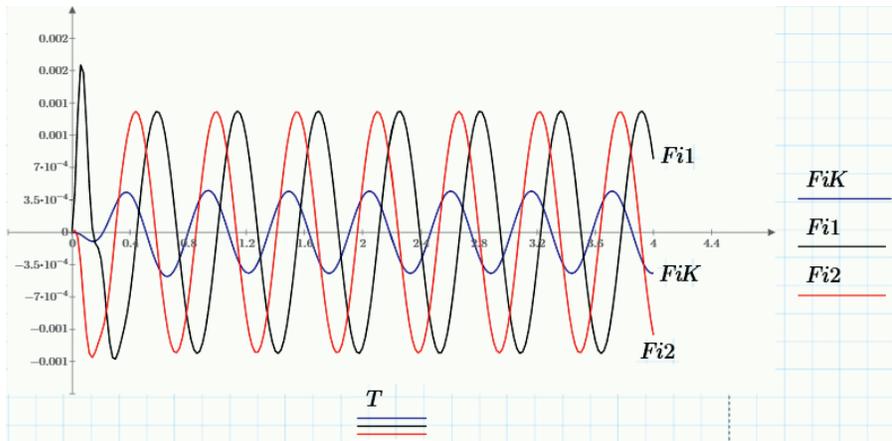


Рис. 4. Графики изменений углов поворота (галопирование) (составлено авторами).

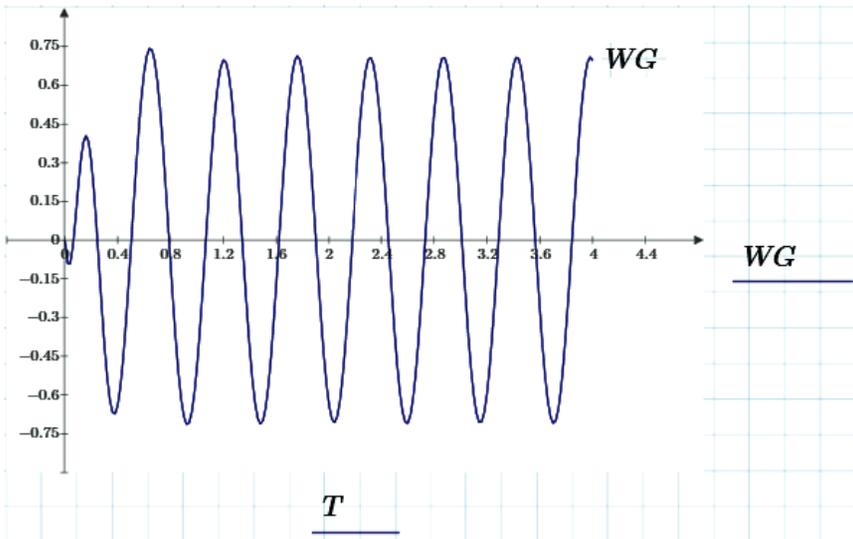


Рис. 5. График изменения ускорения кузова над тележкой (составлено авторами).

Перемещения в цветном изображении на рис. 3–5 обозначены следующим образом: z_x (синий), z_y (пунктир) и z_z (красный); углы поворота: φ_x (синий), φ_y (пунктир) и φ_z (красный).

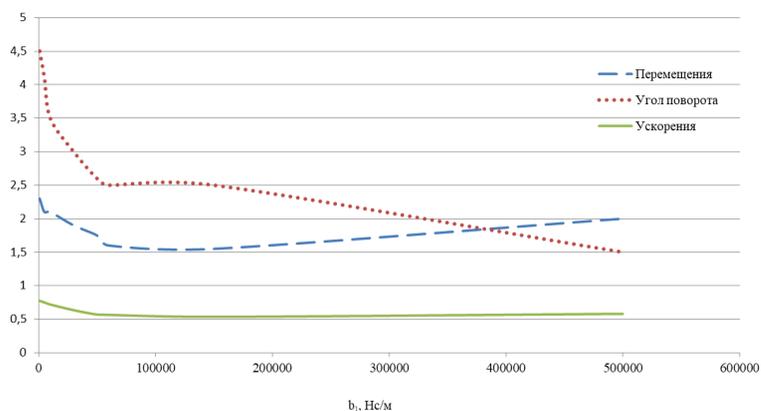


Рис. 6. Зависимость величин перемещения, угла поворота и ускорения от параметра сопротивления b_1 (составлено авторами).

• кузов и тележки вагона считаются абсолютно твёрдыми телами по сравнению с жёсткостью рессор;

• абсолютно жёстким считается путь ввиду большой жёсткости его элементов;

• рессорное подвешивание считается безынерционным ввиду малости масс, участвующих в колебании;

• силы внутреннего неупругого сопротивления в элементах пути и кузова и сопротивления среды не учитываются;

• колёсные пары находятся в постоянном контакте с рельсами;

• возмущения от правого и левого рельсов принимаются одинаковыми (последнее допущение позволяет рассматривать колебания плоскими).

Для получения математической модели колебаний в вертикальной продольной плоскости для подвижного состава, имеющего осевую формулу 2–2 с двухъярусным подвешиванием, при прохождении неровностей пути разработана расчётная схема (рис. 2).

За исходные данные расчётной схемы, представленной на рис. 2, были приняты тактико-технические характеристики подвижного состава (табл. 1).

Рассматривая расчётную схему как двухмассовую систему, запишем системы дифференциальных уравнений колебаний:

– кузова:

$$m_k \ddot{z}_k + \beta_2 (2\dot{z}_k - \dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_2 (2z_k - z_1 - z_2) = 0$$

$$J_{xy} \ddot{\phi}_k + \beta_2 a_k (2a_k \dot{\phi}_k - \dot{z}_1 + \dot{z}_2) + c_2 a_k (2a_k \phi_k - z_1 + z_2) = 0;$$

– первой тележки:

$$m_m \ddot{z}_1 - \beta_2 (\dot{z}_k - \dot{z}_1 + a_k \dot{\phi}_k) - c_2 (z_k - z_1 + a_k \phi_k) + 2\beta_1 \dot{z}_1 + 2c_1 z_1 = \beta_1 (\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) + c_1 (\eta_1 + \eta_2)$$

$$J_{my} \ddot{\phi}_1 + 2\beta_1 a_m^2 \dot{\phi}_1 + 2c_1 a_m^2 \phi_1 = a_m (\beta_1 (\dot{\eta}_1 - \dot{\eta}_2) + c_1 (\eta_1 - \eta_2));$$

– второй тележки:

$$m_m \ddot{z}_2 - \beta_2 (\dot{z}_k - \dot{z}_2 - a_k \dot{\phi}_k) - c_2 (z_k - z_2 - a_k \phi_k) + 2\beta_1 \dot{z}_2 + 2c_1 z_2 = \beta_1 (\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4) + c_1 (\eta_3 + \eta_4)$$

$$J_{my} \ddot{\phi}_2 + 2\beta_1 a_m^2 \dot{\phi}_2 + 2c_1 a_m^2 \phi_2 = a_m (\beta_1 (\dot{\eta}_3 - \dot{\eta}_4) + c_1 (\eta_3 - \eta_4)).$$

Решение уравнений проводилось в пакете MathCad Prime 4.0 с использованием численного метода Рунге–Кутты (шаг вычислений в программном комплексе MathCad выбирается автоматически). Изучение свойств динамической системы проводилось путём изменения параметра сопротивления гасителей первой ступени рессорного подвешивания в пределах значений от 1000 до 500000 Нс/м. При этом фиксировались значения амплитуды колебаний системы и период.

Графическая интерпретация результатов расчёта приведена на рис. 3–5.

Анализ результатов показал, что период колебаний кузова и тележек при любых изменениях параметра сопротивления гидрогасителя остаётся неизменным: для тележек равен 0,57 с, а для кузова – 0,50 с (рис. 6).

При $b_2 = 80000$ Нс/м параметры сопротивления буксовых гасителей b_1 находятся в промежутке от 80000 до 150000 Нс/м, поэтому их можем рекомендовать в качестве рациональных параметров. Используемые на подвижном составе гидравлические гасители колебаний с указанными параметрами способствуют снижению износа и повреждаемости ходовых частей, улучшению плавности хода и безопасности движения, а также снижению затрат на ремонт и техническое обслуживание.

ВЫВОДЫ

Безопасность движения и эксплуатации подвижного состава обусловлена совокупностью динамических показателей качества:





виброзащиты, безопасности движения и плавности хода.

Установлено, что показатель вертикальной динамики первой $K_{д1}$ и второй $K_{д2}$ ступеней рессорного подвешивания в зависимости от скорости перемещения экипажа рационально определять по линейной зависимости типа $y = ax + b$, о чём свидетельствуют величины дисперсий, которые стремятся к единице для каждой полученной функции. При увеличении скорости происходит снижение динамического коэффициента. Например, при скорости, равной 200 км/час, он снижается в 1,37 раза, что говорит о необходимости пересмотра параметров гидравлических гасителей для высокоскоростного подвижного состава.

За возмущающий фактор, действующий на рассматриваемую динамическую систему, принята модель, представляющая собой периодически изменяющуюся функцию, например, синусоиду, аргумент которой изменяется с периодом, соответствующим длине рельсового звена (многоопорная балка). Установлено, что основной характеристикой гидравлических гасителей колебаний является зависимость изменения силы сопротивления гидрогасителя от скорости перемещения поршня.

Выбранные расчётные схемы колебательного процесса в вертикальной продольной плоскости при движении экипажа позволяют оценить основные динамические свойства системы при принятых допущениях, которые не противоречат теории упругости и динамики твёрдых тел и не оказывают существенно влияния на результаты расчётов.

Анализ результатов исследования динамической модели, показал, что период колебаний для первой и второй колёсных пар при любых изменениях параметра вязкости гидрогасителей остаётся неизменным:

- для первой колёсной пары он равен 0,57 с, а для второй 0,50 с;
- амплитуда колебаний на первой колёсной паре минимальна при $b_1 = 50000$ и $b_2 = 80000$ Н·м/с (при дальнейшем соотношении эта величина начинает возрастать).

Использование на подвижном составе гидравлических гасителей колебаний с выявлен-

ными нами характеристиками, кроме требований комфортности, улучшения плавности хода и безопасности движения при перевозке пассажиров и грузов, способствуют снижению износа и повреждаемости ходовых частей вагонов и, как следствие, приводят к уменьшению затрат на их ремонт и техническое обслуживание.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Плеханов П. А. Обеспечение безопасности движения на железнодорожном транспорте в международном сообщении: отечественный опыт и зарубежная статистика // Надёжность, живучесть и безопасность. – 2017. – С. 1–8. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/39617174-Obespechenie-bezopasnosti-dvizheniya-na-zheleznodorozhnom-transporte-v-mezhdunarodnom-soobshchenii-otchestvennyy-opyt-i-zarubezhnaya-praktika.html>. Доступ 12.01.2021.
2. Амелин С. В., Смирнов М. П., Рязанцев В. И. и др. Устройство, ремонт и текущее содержание железнодорожного пути / Под ред. С. В. Амелина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 272 с.
3. Воздействие на организм человека механических колебаний (вибрации). [Электронный ресурс]: https://studopedia.ru/11_96204_vozdeystvie-na-organizm-cheloveka-mehnicheskih-kolebaniy-vibratsii.html. Доступ 12.01.2021.
4. Негативное воздействие механических колебаний на организм человека. [Электронный ресурс]: <https://megapredmet.ru/1-56838.html>. Доступ 12.01.2021.
5. Ивановкин П. Г., Зарифьян А. А., Василькова Е. А. Основы механики подвижного состава: Учеб. пособие в 2 ч. – Ч. 1. – Ростов н/Д. – 2015. – 58 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/54635179-Osnovy-mehaniiki-podvizhnogo-sostava.html>. Доступ 12.01.2021.
6. Гарг В. К., Дуккипати Р. В. Динамика подвижного состава / Пер. с англ. – Под ред. Н. А. Панькина. – М.: Транспорт, 1988. – 391 с.
7. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.д. транспорта / Под ред. С. В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
8. Тарг С. М. Теоретическая механика. – М.: Машиностроение, 2013. – 232 с.
9. Рубан В. Г., Матва А. М. Решение задач динамики железнодорожных экипажей в пакете MathCad: Учеб. пособие. – Ростов н/Д, РГУПС, 2009. – 99 с.
10. Савоськин А. Н., Бурчак Г. П., Васильев А. П. Динамика тягового подвижного состава: Часть I. Конспект лекций по дисциплинам «Динамика систем», «Основы механики подвижного состава», «Механическая часть э.п.с.» / Под ред. А. Н. Савоськина. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 91 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/86797403-Dinamika-tyagovogo-podvizhnogo-sostava.html>. Доступ 12.01.2021.
11. Воронин А. В. Моделирование технических систем: Учеб. пособие. – Томск: ТПУ, 2013. – 130 с. [Электронный ресурс]: <https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VORONINAV/ycheba/Tab1/Моделирование%20технических%20сис.doc>. Доступ 26.04.2021. ●

Информация об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры путей, строительных машин и робототехнических комплексов Российского университета транспорта, Москва, Россия, rich.cat2012@yandex.ru.

Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой путей, строительных машин и робототехнических комплексов Российского университета транспорта, Москва, Россия, neklyudov.an@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 17.02.2021, одобрена после рецензирования 25.06.2021, принята к публикации 09.07.2021.

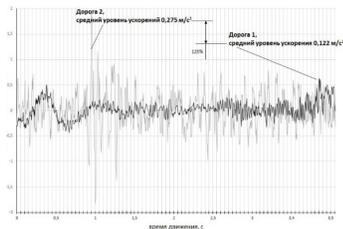
T



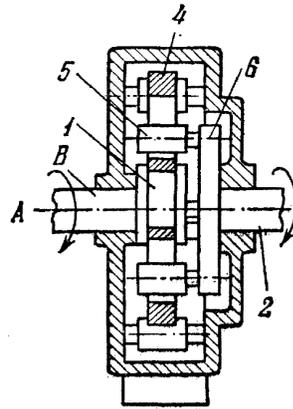
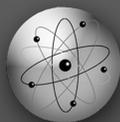
АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ 22, 34

Автоматический мониторинг состояния мостовых сооружений. Измерения горизонтальных перемещений и вертикальных осадок. Тензометрия и интерпретация результатов.

Как спрогнозировать оптимальное время технического обслуживания автомобиля с помощью установленного на нём штатного акселерометра и какую роль играет состояние дорожного покрытия.

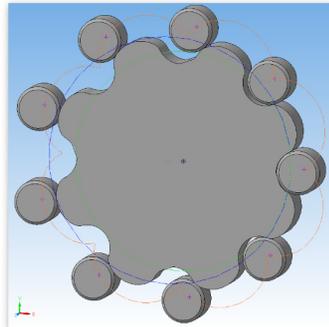


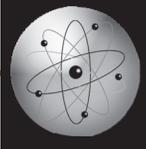
НАУКА И ТЕХНИКА



ПРОИЗВОДСТВО И ОБРАЗОВАНИЕ 40

Универсальный инструмент? Трудно определить грань, для чего более полезно цифровое моделирование: для проектирования, технологического процесса или обучения будущих инженеров.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 624.21:620.178
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-3>

Методики обработки экспериментальных данных мониторинга состояния мостовых конструкций



Николай КВАШНИН



Иван БОНДАРЬ



Михаил КВАШНИН

Николай Михайлович Квашнин¹, Иван Сергеевич Бондарь², Михаил Яковлевич Квашнин³

¹ ФГУП «ЗащитаИнфоТранс», Москва, Россия.

² Международная Образовательная Корпорация, Алматы, Казахстан.

³ Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан.

✉ ² ivan_sergeevich_08@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Надёжность искусственных сооружений транспортной отрасли и пропуск подвижного состава с установленными скоростями должны обеспечиваться необходимой и достаточной несущей способностью, прочностью, жёсткостью и устойчивостью искусственных сооружений.

Целью данной работы являлось обоснование возможности применения широко известных методов контроля напряжённо-деформированного состояния конструкций в автоматизированных системах мониторинга технического состояния пролётных строений мостов.

Это особенно важно применительно к эксплуатации искусственных сооружений транспортной отрасли, спроектированных по нормам первой половины XX века.

В этих условиях экспериментальное определение напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций мостов становится важнейшей составляющей задачи комплексной оценки физического износа и эксплуатационной надёжности сооружения. Мониторинг технического состояния мостов и планирование на этой основе своевременных мероприятий по ремонту, усилению или реконструкции пролётных строений позволяют продлить срок их службы и обеспечить безопасность при эксплуатации.

Ключевые слова: транспорт, инфраструктура, искусственные сооружения, мост, пролётное строение, прогиб, напряжение, деформация, мониторинг.

Поскольку для обеспечения плавности движения транспортных средств необходимо контролировать горизонтальные продольные и поперечные перемещения верха опор мостов, а также их вертикальные осадки, выявлены предельно допустимые прогибы пролётных строений от вертикальной временной подвижной нагрузки.

В настоящей работе приведены методики интерпретации данных, измеренных инклинометрами и электрическими тензодатчиками, с целью их использования в автоматизированной системе мониторинга технического состояния железнодорожных мостов. Подробно изложен метод тензометрии в предложенных вариантах установки тензорезисторов на конструкции для измерения напряжений растяжения–сжатия и продольных усилий от временной вертикальной нагрузки.

Мониторинг технического состояния мостовых конструкций с применением предлагаемых авторами в данной статье методик измерений прогибов и деформаций позволит оценить изменение несущей способности сооружения за весь период эксплуатации.

В исследовании использовались нормативные документы и практический опыт Российской Федерации и Республики Казахстан.

Для цитирования: Квашнин Н. М., Бондарь И. С., Квашнин М. Я. Методики обработки экспериментальных данных мониторинга состояния мостовых конструкций // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 22–33. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-3>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с действующими во многих странах, в том числе в Российской Федерации, правилами и нормами надёжность искусственных сооружений транспортной отрасли и пропуск подвижных нагрузок с установленными скоростями должны обеспечиваться необходимой и достаточной несущей способностью, прочностью, жёсткостью и устойчивостью в течение всего периода эксплуатации.

Длительная эксплуатация искусственных сооружений транспортной отрасли, спроектированных по нормам первой половины XX века на расчётные подвижные нагрузки того периода, привела к появлению дефектов и неисправностей, влияющих на условия пропуска поездов по пролётным строениям мостов и скорости движения подвижного состава. В связи с этим экспериментальное определение напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций мостов становится важнейшей составляющей задачи комплексной оценки физического износа и эксплуатационной надёжности сооружения. Мониторинг технического состояния мостов, возведённых по старым нормам проектирования, и своевременные мероприятия по ремонту, усилению или реконструкции пролётных строений позволят продлить срок их службы и обеспечить безопасность при эксплуатации.

В сводах правил по проектированию мостовых сооружений с целью обеспечения плавности движения транспортных средств установлены предельно допустимые прогибы пролётных строений от подвижной временной вертикальной нагрузки. При проведении мониторинга необходимо контролировать горизонтальные продольные и поперечные перемещения верха опор мостов, а также их вертикальные осадки.

В данное время для мониторинга технического состояния пролётных строений больших и уникальных железнодорожных мостов существует несколько методик.

Целью данной работы являлось обоснование возможности применения широко известных методов контроля напряжённо-деформированного состояния конструкций в автоматизированных системах мониторинга технического состояния пролётных строений мостов.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ

При разработке автоматизированных систем мониторинга рекомендуется использовать электронные прогибомеры, инклинометры с электрическим выходным сигналом. Для измерения деформаций (напряжений) применяют электрические тензометры сопротивления – тензодатчики или тензорезисторы. Прогибы пролётных строений мостов под нагрузкой определяют с помощью геодезических инструментов, механических и электронных прогибомеров с проволочной связью, а также инклинометров – датчиков крена и угловых перемещений. В настоящее время инклинометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика, являются сравнительно новыми приборами, доведёнными до широкого промышленного применения [1, с. 20].

Применение механических и электронных прогибомеров с проволочной связью при испытаниях путепроводов и эстакад позволяет значительно повысить точность и упростить процесс измерения прогибов по сравнению с геодезическими измерениями. Однако необходимость иметь жёсткую связь с землёй, так называемой «мёртвой точкой», относительно которой происходят измерения, делает невозможным их использование для измерения прогибов пролётных строений мостов, расположенных над водными преградами [1, с. 20].

В последние годы, при длительных измерениях (мониторинге) величин прогибов пролётных строений мостов также расширилась возможность использования датчиков крена и угловых перемещений – инклинометров.

Анализ напряжённого состояния элементов натуральных конструкций, как правило, реализуется на основе измерения деформаций на поверхностях объектов исследования. Среди экспериментальных методов измерения деформаций (механический, акустический, электрический, оптический, методы муара, сеток и др.) подавляющее большинство исследователей отдаёт предпочтение измерениям с применением электрических тензометров сопротивления – тензодатчиков или тензорезисторов [2, с. 13]. Тензорезистор наилучшим образом удовлетворяет критерию «стоимость–эффективность», обладая оптимальным сочетанием характеристик, традиционно применяемых для оценки тензометри-



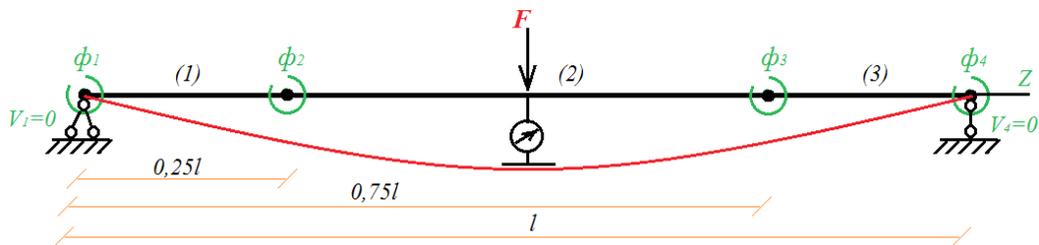


Рис. 1. Расчётная схема пролётного строения (Отчёт об опытно-конструкторской работе по теме «Создание системы мониторинга потенциально опасных объектов железнодорожного транспорта с использованием систем ГЛОНАСС/GPS/GALILEO». – М.: ФГУП «ЗащитаИнфоТранс», 2020. – 154 с.).

ческой системы. Такими характеристиками являются:

- градуировочная константа датчика, которая должна обладать температурной и временной стабильностью;
- погрешность измерения деформаций, которая не должна превышать 1 мкм/м в диапазоне деформаций ±5 % (±50 000 мкм/м);
- длина и ширина датчика, которые должны быть достаточно малы для адекватного измерения деформации в точке;
- инерционность датчика, которая должна быть достаточно мала для регистрации высокочастотных динамических процессов;
- линейность отклика датчика в пределах всего диапазона измерений;
- экономичность датчика и сопряжённых с ним устройств;
- минимальные требования к квалификации обслуживающего персонала, необходимой для установки и проведения измерений [2, с. 13].

В настоящее время тензорезисторы применяются в более чем 80 % исследований напряжённого состояния проводимых в промышленности США, Японии и других развитых стран. Кроме того, тензорезисторы широко распространены в качестве чувствительных элементов датчиков, разработанных для измерения сил, моментов и давления [2, с. 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика интерпретации данных, измеренных инклинометрами

Известно, что максимальный прогиб конструкции пролётного строения моста (в середине пролёта) не должен превышать предельной величины:

$$f_{max} \leq f_u, \quad (1)$$

где f_u – предельная величина прогиба, нормируемая, например, в Российской Федерации и Республике Казахстан, соответственно

п. 5.43 СП 35.13330.2011¹ и п. 5.6.1 СП РК 3.03-112-2013².

Согласно требованиям п. 5.43 СП 35.13330.2011 и п. 5.6.1 СП РК 3.03-112-2013 вертикальные упругие прогибы пролётных строений, вычисленные при действии подвижной временной вертикальной нагрузки, для железнодорожных мостов не должны превышать значений:

$$\frac{1}{800 - 1,25 \cdot l} \cdot l, \quad (2)$$

но не более $\frac{1}{600} \cdot l,$

где l – расчётная длина пролёта, м.

Для пролётного строения железнодорожного моста $l = 126$ м, предельная величина прогиба, нормируемая п. 5.43 СП 35.13330.2011 и п. 5.6.1 СП РК 3.03-112-2013, составляет:

$$\frac{1}{800 - 1,25 \cdot 126} \cdot 126 = 0,196 \text{ м.}$$

При определении прогиба конструкций прямым методом, методом измерения вертикального перемещения в центральной части пролёта необходимо закрепить датчик перемещения на неподвижной опоре. В большинстве случаев, в особенности при больших пролётах, это сделать невозможно. На практике преимущественно применяются косвенные методы измерения величин, по которым вычисляют прогибы конструкции. В этом случае прогиб предлагается определять косвенно, через измеренные значения углов поворота узлов конструкции.

¹ СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849>. Доступ 24.05.2021.

² СП РК 3.03-112-2013. Мосты и трубы. Астана, 2013. [Электронный ресурс]: <https://www.egfntd.kz/upload/NTD/%D0%A1%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A/113%20%D0%A1%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A%203.03-112-2013.pdf>. Доступ 24.05.2021.

Таблица 1

№ п/п	Z_2 , мм	Z_3 , мм	$\alpha_{\text{инт2}}$, угл. сек	$\alpha_{\text{инт1}}$, угл. сек	φ_2 , радиан	φ_3 , радиан	$v\left(\frac{l}{2}\right)$, мм
1	31500	94500	-18	-18	$-8,722 \cdot 10^{-5}$	$-8,722 \cdot 10^{-5}$	-3,14
2	31500	94500	-360	-360	$-1,744 \cdot 10^{-3}$	$-1,744 \cdot 10^{-3}$	-62,80
3	31500	94500	-1152	-1152	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	-200,96
4	31500	94500	-1152	-1152	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	-25,63
5	31500	94500	-1152	-1152	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	-197,23
6	31500	94500	-1152	-1152	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	$-5,582 \cdot 10^{-3}$	200,96
7	31500	94500	-1152	-1152	$-4,846 \cdot 10^{-3}$	$-5,330 \cdot 10^{-3}$	162,45

В случае определения прогиба косвенным методом через измеренные значения углов наклона узлов конструкции, неизвестную функцию прогибов по длине балки можно определить, используя методы сопротивления материалов [2, с. 28], рассматривая дифференциальную зависимость прогиба от угла поворота:

$$dv/dz = \varphi(z). \quad (3)$$

Предлагаемая методика определения прогибов через углы наклона применима для балочных элементов с одним пролётом и двумя шарнирными опорами (рис. 1).

В качестве граничных условий приняты прогибы балки над опорами, равные нулю. Метод даёт наибольшую сходимости в случае, когда места измерения углов поворота находятся на расстоянии от опор, равном 25 % пролёта. Недостатком метода являются ограничения, накладываемые на места закрепления датчиков измерения углов поворота. Достоинствами являются высокая степень сходимости (отклонение не более 5 %) и использование малого количества датчиков измерения углов поворота. В данном методе принимается, что функцию прогибов балочного элемента с одним пролётом достаточно описать полиномом третьего порядка с четырьмя неизвестными коэффициентами:

$$v(z) = az^3 + bz^2 + cz + d. \quad (4)$$

Из дифференциальной зависимости (3) функция углов поворота определяется выражением вида:

$$\varphi(z) = 3az^2 + 2bz + c. \quad (5)$$

Для нахождения значений неизвестных коэффициентов требуется решение системы из четырёх уравнений:

$$\begin{cases} v(z_1) = az_1^3 + bz_1^2 + cz_1 + d \\ v(z_4) = az_4^3 + bz_4^2 + cz_4 + d \\ \varphi_2 = \varphi(z_2) = 3az_2^2 + 2bz_2 + c \\ \varphi_3 = \varphi(z_3) = 3az_3^2 + 2bz_3 + c. \end{cases} \quad (6)$$

После решения системы уравнений (6) значения прогибов балки вычисляются по зависимости (4).

Решая систему уравнений (6), для нахождения неизвестных коэффициентов воспользуемся граничными условиями (рис. 1) $v(z_1) = 0$; $v(z_4) = 0$; $z_1 = 0$; $z_4 = l$ (граничные условия $z_2 = 1/4 \cdot l$ и $z_3 = 3/4 \cdot l$ использовать не будем, так как возможны некоторые отклонения при установке измерителей углов поворота). Решая систему уравнений (6) при данных граничных условиях, получаем следующие выражения для неизвестных коэффициентов:

$$\begin{aligned} d &= 0; \\ a &= \frac{\varphi_3(2z_2 - l) + \varphi_2(l + 2z_3)}{3(z_3^2 - z_2^2)(2z_2 - l) + 2(l^2 - 3z_2^2)(z_3 + z_2)}; \\ b &= \frac{\left[\varphi_3(2z_2 - l) + \varphi_2(l + 2z_3) \right] (l^2 - 3z_2^2)}{\left[3(z_3^2 - z_2^2)(2z_2 - l) + 2(l^2 - 3z_2^2)(z_3 + z_2) \right] (2z_2 - l)} + \\ &+ \frac{\varphi_2}{(2z_2 - l)}; \\ c &= \frac{\varphi_2(4z_2 - l)}{(2z_2 - l)} - \\ &- \frac{\left[\varphi_3(2z_2 - l) + \varphi_2(l + 2z_3) \right] (l^2 - 3z_2^2)}{\left[3(z_3^2 - z_2^2)(2z_2 - l) + 2(l^2 - 3z_2^2)(z_3 + z_2) \right] (2z_2 - l)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя значения коэффициентов (7) в формулу (4), получаем следующее выражение для определения прогиба в середине пролёта:

$$\begin{aligned} v\left(\frac{l}{2}\right) &= \frac{l^2(18z_2^2 - 14z_2l + l^2) \left[\varphi_3(2z_2 - l) + \varphi_2(l + 2z_3) \right]}{(24(z_3^2 - z_2^2)(2z_2 - l)^2 + 16(l^2 - 3z_2^2)(z_3 + z_2)(2z_2 - l))} + \\ &+ \frac{\varphi_2 l(16z_2 - 3l)}{4(2z_2 - l)}. \end{aligned} \quad (8)$$



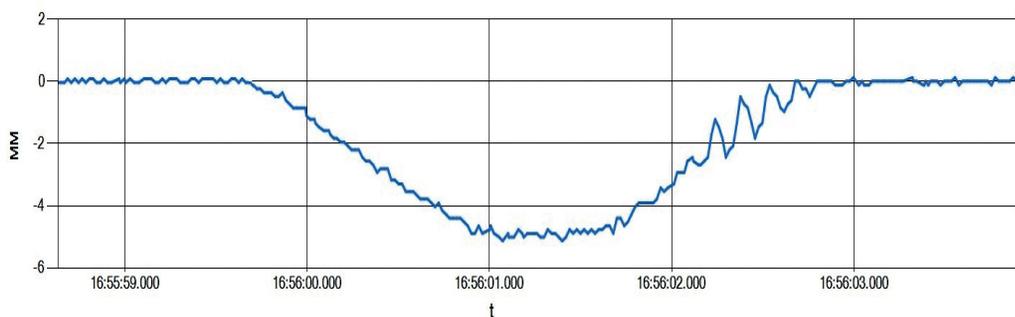


Рис. 2. Пример диаграммы прогиба разрезного пролётного строения (Технический отчёт. Обследование и испытание железнодорожного путепровода по схеме 16,5+23,6+16,5м через автомобильную дорогу II категории на км 56 ПК9+50 железнодорожной линии Кульсары–Тенгиз. Алматы: АО «КазАТК им. М. Тынышпаева». – 2018. – С. 126).

Таблица 2

Пороговые значения контролируемых прогибов в терминах «норма/тревога/авария»

№ п/п	Наименование показателя	f_{max} , мм	$K = f_{max}/f_u$
1	Пороговое значение границы «норма»/»тревога»	0...137,2	0...0,7
2	Пороговое значение границы «тревога»/»авария»	137,2...196	0,7...1

* Приведённые численные значения уточняются по результатам накопления и статистического анализа измеренных в процессе проведения мониторинга прогибов середины пролётного строения, возникающих под реально обещающей подвижной нагрузкой.

Для рассматриваемого пролётного строения железнодорожного моста $l = 126$ м. Величины z_2 и z_3 измеряются после установки измерителей углов наклона на конструкции пролётного строения. Также необходимо отметить, что в выражение (8) подставляются измеренные инклинометрами значения углов поворота φ в радианах:

$$\varphi = \frac{\pi \alpha_{инн}}{3600 \cdot 180}, \quad (9)$$

где $\alpha_{инн}$ – значение угла поворота по показаниям инклинометра ИН-ДЗц-3600 в угловых секундах.

Некоторые значения прогибов, рассчитанные по выражению (8) при различных значениях начальных и измеряемых параметрах, приведены в табл. 1.

При проведении опытной эксплуатации системы мониторинга в программном обеспечении целесообразно предусмотреть модуль визуализации измеренных данных [3–7]. Визуализацию данных, полученных с инклинометров, целесообразно выполнять путём построения диаграмм прогибов пролётного строения моста при движении подвижного состава. Пример диаграммы прогиба разрезного пролётного строения приведён на рис. 2 [8–10].

Оценку работы конструкций сооружения по фактически измеренным значениям про-

гиба при каждом прохождении подвижного состава по мосту рекомендуется выполнять в соответствии с приложением В СП 79.13330.2012³ и с приложением Г СП РК 3.03-113-2014⁴ с помощью коэффициента, вычисляемого по формуле:

$$K = f_{max}/f_u \quad (10)$$

где f_{max} – максимальное значение прогиба в середине пролёта, определённое согласно выражению (8);

f_u – предельная величина прогиба, нормируемая п. 5.43 СП 35.13330.2011 и п. 5.6.1 СП РК 3.03-112-2013.

Значения коэффициента K , больше единицы, вычисленные по величинам максимальных прогибов, однозначно указывают на существенное отличие работы элементов сооружения от принятых в расчётах предпосылок (элементы сооружения не работают в упругих пределах). В этих случаях необходимо срочно разрабатывать меры по обеспечению надёж-

³ СП 79.13330.2012. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07.-86. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095530>. Доступ 24.05.2021.

⁴ СП РК 3.03-113-2014. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Астана, 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.egfntd.kz/upload/NTD/%D0%A1%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A/114%20%D0%A1%D0%9F%20%D0%A0%D0%9A%203.03-113-2014+.pdf>. Доступ 24.05.2021.

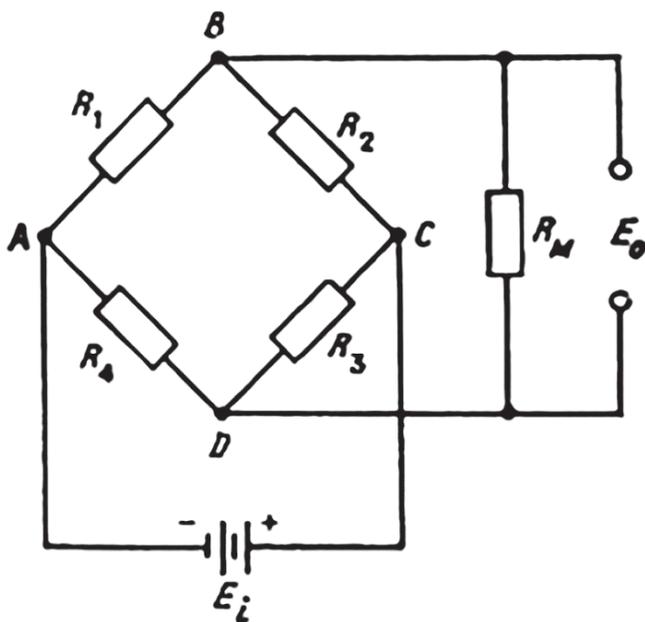


Рис. 3. Мост Уитстона с источником постоянного напряжения [2, с. 38].

ной работы элементов. На период опытной эксплуатации рекомендуется принять пороговые значения контролируемых прогибов в терминах «норма/тревога/авария», приведённые в табл. 2.

Методика интерпретации данных, измеренных тензометрами

Согласно требованиям п. 6.9, 6.18 СП 79.13330.2012³ и п. 7.2.6, 7.3.6 СП РК 3.03-113-2014⁴, усилия (силы, моменты) в частях и элементах конструкций железнодорожных эксплуатируемых мостов от подвижной временной вертикальной нагрузки при динамических испытаниях (при прохождении подвижного состава) не должны превышать усилий от временной вертикальной нагрузки, определённой расчётным путём по действующим нормативным документам.

Для определения усилий от подвижной временной вертикальной нагрузки, возникающих при прохождении подвижного состава, необходимо измерить деформации, а затем, используя закон деформирования для рассматриваемого материала, вычислить напряжения и усилия. Деформации измеряются тензорезисторами, которые легко закрепить на поверхности материала конструкции.

Тензорезисторы – сложные электрические устройства, позволяющие измерять деформации. Так как диапазон измерения сопротив-

ления тензорезистора очень мал, он достигает для 120 Ом датчика около 0,00024 Ом на деформацию 1 мкм/м. Значит, деформация 1000 мкм/м поменяет сопротивление 120 Ом датчика на 0,240 Ом. Для того чтобы измерить такие маленькие напряжения, в измерительных приборах чаще всего используют мостовые схемы. Данные схемы работают от источника постоянного тока либо напряжений.

На рис. 3 приведена схема работы измерительного моста, запитанного от источника постоянного напряжения (моста Уитстона). Мост Уитстона изображён равносторонним ромбом, в котором стороны – плечи, а вершины – узлы моста. Источник напряжения и четыре тензорезистора (R_1, R_2, R_3, R_4) образуют мост. R_M -резистор позволяет электрическому току протекать через мост без затрат энергии.

Выходное напряжение E_0 измерительного моста (разность напряжений точек B и D) определяется соотношением [3, с. 211]:

$$E_0 = \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot E_i. \quad (11)$$

Из уравнения (11) следует, что $E_0 = 0$, если выполняется условие:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \text{ или } R_1/R_2 = R_4/R_3. \quad (12)$$

При соблюдении равенства (12) мост называется сбалансированным. Это означает, что малое напряжение разбаланса, вызванное



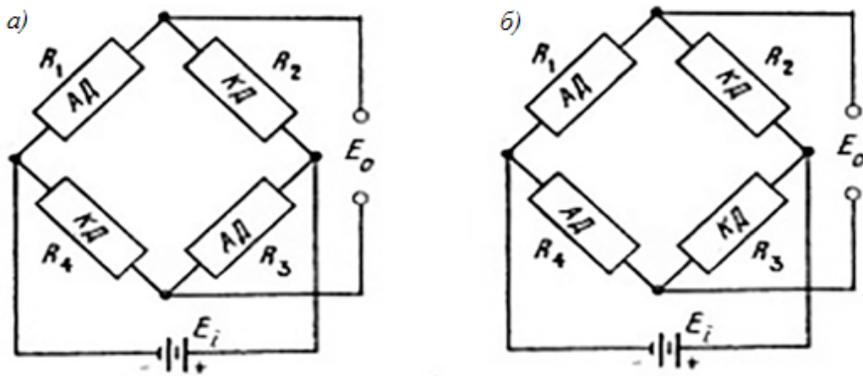


Рис. 4. Варианты включения тензодатчиков в полный мост при измерении деформаций [2, с. 56]. АД – активный датчик; КД – компенсационный датчик. а) для измерения деформаций растяжения–сжатия ϵ_N ; б) для измерения деформаций изгиба ϵ_M .

изменением сопротивления, измеряется относительно нулевого или почти нулевого уровня. Этот сигнал легко может быть усилен до высокого уровня для последующей регистрации.

Выходное напряжение E_0 возникает при изменении сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 на величины $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$. Такие изменения сопротивления возникают, например, вследствие деформации или температурных расширений тензорезисторов. В соответствии с уравнением (11) изменение выходного напряжения E_0 , вызванное указанными малыми изменениями сопротивления, составляет [2, с. 42]:

$$E_0 = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) (1-\eta) \cdot E_i, \quad (13)$$

где η – член, характеризующий погрешность (нелинейность моста), описываемый соотношением:

$$\eta = \frac{1}{\left(\frac{1+(1+r)}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + r \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)} \right)}, \quad (14)$$

где r – отношение сопротивлений R_2/R_1 или R_3/R_4 .

Из выражений (13) и (14) следуют важные для практических приложений свойства измерительного моста:

- деформации, действующие на тензорезисторы противоположных плеч моста, суммируются в пределах измерительного моста;
- деформации, действующие на тензорезисторы смежных плеч моста, вычитаются в пределах измерительного моста;
- погрешность моста η (нелинейность) пропорциональна алгебраической сумме всех

деформаций, воспринимаемых тензорезисторами в пределах измерительного моста [2, с. 43].

Для простого случая присутствуют равенства всех четырёх сопротивлений (то есть, $r = 1$). Как легко увидеть из выражений (13) и (14), член, соответствующий погрешности η , обращается в ноль, когда ΔR_1 и ΔR_4 равны по величине и противоположны по знаку при $\Delta R_2 = \Delta R_3 = 0$, а также когда ΔR_2 и ΔR_3 равны по величине и противоположны по знаку при $\Delta R_1 = \Delta R_4 = 0$. Этот результат имеет важное значение, так как нелинейное функционирование моста не существенно, когда используются одновременно два активных датчика в противоположных плечах ΔR_1 и ΔR_4 или ΔR_2 и ΔR_3 . При одном активном датчике нелинейность приводит к погрешности 1 %, если $\Delta R_1/R_1$ меньше 0,02 (величина, обычно соответствующая деформации 10000 мкм/м) [2, с. 43].

Влияние нагрузочного резистора R_M на величину идеального выходного напряжения E_0 может быть определено путём анализа сопротивления нагрузки, последовательно подключённой к мосту. Результат выражается в виде:

$$E_{01} = \frac{R_M}{R_M + R_B} \cdot E_0 = \frac{E_0}{\left(\frac{1+R_B}{R_M} \right)}, \quad (15)$$

где E_{01} – фактическое выходное напряжение, а величина представляет собой эффективное сопротивление моста [2, с. 43]:

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} + \frac{R_3 R_4}{(R_3 + R_4)}. \quad (16)$$

Как следует из уравнения (16), если все плечи моста имеют одинаковое сопротивление R_g , то $R_B = R_g$. Таким образом, при $R_M > 100 R_g$ для моста с одинаковыми плечами

погрешность не превышает 1 %. Это условие легко реализуется при использовании большинства серийных измерительных приборов, поскольку R_M обычно превышает $100 R_g$. Следует отметить, что рассмотренное влияние нагрузки может быть учтено соответствующей методикой градуировки [2, с. 43].

На рис. 4 показаны схемы включения тензодатчиков в измерительный мост по полномостовой схеме при использовании двух активных и компенсационных датчиков в четырёх плечах моста, используемых в практике измерения деформаций конструкций. В этом случае активные датчики наклеиваются на конструкцию диаметрально противоположно (то же относится и к компенсационным датчикам).

Вариант *a* используется для измерения деформаций растяжения–сжатия ϵ_M , возникающих в конструкции главной балки пролётного строения моста при прохождении подвижного состава. Вариант *b* использовался при определении чувствительности измерительной системы к деформациям изгиба ϵ_M . Следует отметить, что с точки зрения чувствительности выходного напряжения, возникающего на измерительном мосту при деформировании, варианты *a* и *b* абсолютно эквивалентны друг другу, что следует из анализа выражения (13).

В данных вариантах включения тензодатчиков в измерительный мост используются тензорезисторы, имеющие равное сопротивление (из одной партии), так что r равно 1. Основные преимущества данного варианта исполнения моста – температурная компенсация, линейность (если все приращения ΔR одинаковы по величине) и возможность конструирования измерительных схем, лишённых нежелательной чувствительности к изгибающему или осевому нагружению.

Так как тензометрическая схема используется для измерения весьма малых изменений сопротивления, происходящих в мостовом датчике, то любое воздействие, способное изменить сопротивление различных компонентов моста, имеет существенное значение, поскольку оно воздействует на величину выходного напряжения. Основными компонентами измерительной схемы являются датчики деформаций (тензорезисторы), соединительные провода и места соединений (как паянных, так и клеммовых). Хотя соединения пайкой, контакты и клеммы способны вносить существенные погрешности, соот-

ветствующие проблемы могут быть решены путём их минимизации и соответствующей методикой градуировки.

Более сложная проблема связана с электрическим шумом. Электрический шум, наводимый на измерительном мосту и линиях передачи сигнала магнитными полями от линии энергоснабжения, может представлять серьёзную проблему. Величина напряжения, наведённого в линиях передачи сигнала током, протекающим в линии электроснабжения, пропорциональна площади витка, образованного линиями, и обратно пропорциональна расстояниям между линиями. Для уменьшения шума необходимо применять следующие меры предосторожности [2, с. 66]:

1. Для уменьшения площади витка надо применять только скрученные проводники. В скрученных соединительных проводах наводимый шум практически одинаков в обоих проводах, что ведёт к существенному ослаблению синфазного шума. Длина проводников должна быть сокращена до минимума путём размещения дифференциального усилителя вблизи моста тензодатчиков. Проводники с избыточной длиной не должны образовывать витков во избежание появления индуктивности [2, с. 66].

2. Следует использовать только экранированные кабели. Экран должен быть подключён к отрицательному полюсу источника питания. В этом случае не возникают токи, протекающие от «земли», и экран сохраняет потенциал близкий к нулю. Источник питания не должен соединяться с «землёй» устройства во избежание возникновения витков заземления в источнике питания [2, с. 66].

3. Надо применять только дифференциальные усилители с эффективным подавлением помех общего вида [2, с. 66].

Система для измерения деформаций обычно включает один или более тензодатчиков, резисторы, дополняющие схему до мостовой, балластные резисторы моста, один или более источников питания, усилитель и регистрирующие устройства. Каждый из перечисленных элементов вносит свой вклад в результирующую чувствительность, поэтому градуировка (калибровка) всей системы предпочтительнее, чем дорогостоящая градуировка каждого её компонента [2, с. 66].

Показания регистрирующего устройства d_r связаны с деформацией в каждом плече моста следующим соотношением [2, с. 66]:



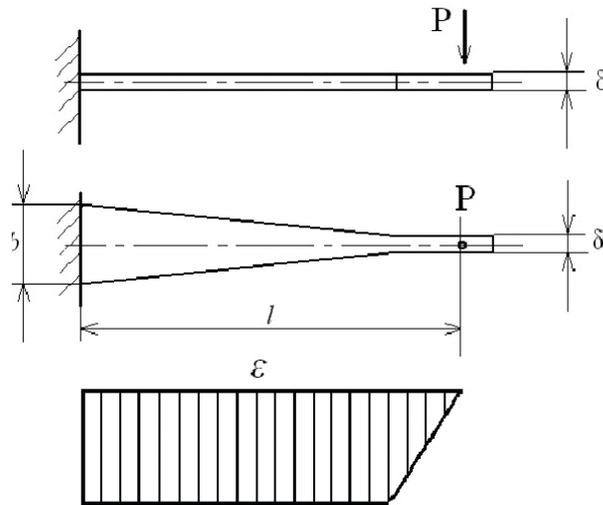
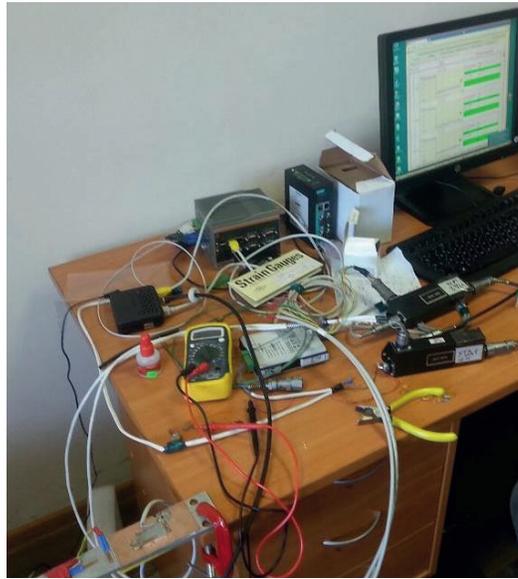


Рис. 5. Схема тарировочной балки равного сопротивления⁵.

$$d_r = \frac{rGEi(1-\eta)S_g}{(1+r)^2} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) = S_R \varepsilon_B, \quad (17)$$

где r – отношение сопротивлений R_2/R_1 или R_3/R_4 ;

G – коэффициент усиления усилителя и регистрирующего устройства;

E_i – напряжение питания моста;

η – нелинейный член;

S_g – коэффициент тензочувствительности, или чувствительность тензорезистора, – паспортный параметр тензорезистора, отражающий поведение системы «решетка/основа/клей» – определяется как отношение приращения сопротивления наклеенного тензорезистора к относительной деформации образца, измеренной в направлении оси тензорезистора:

$$S_g = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}, \quad (18)$$

где ε_i – деформация в i -м плече моста;

S_R – общая чувствительность системы;

ε_B – эффективная деформация, измеренная прибором.

⁵ Отчёт об опытно-конструкторской работе по теме «Создание системы мониторинга потенциально опасных объектов железнодорожного транспорта с использованием систем ГЛОНАСС/GPS/GALILEO». – М.: ФГУП «ЗащитаИнфоТранс», 2020. – 154 с.

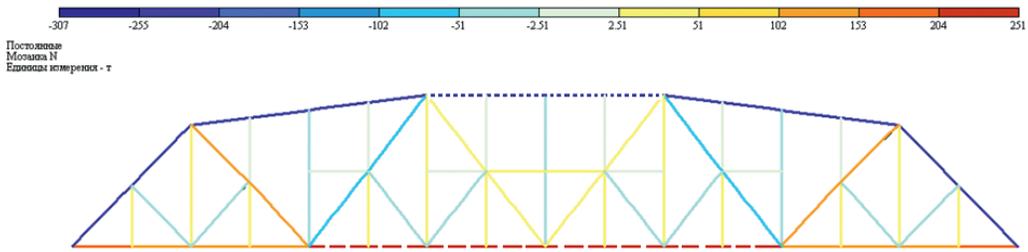


Рис. 6. Мозаика продольных усилий в элементах главной фермы пролетного строения ПС 2, под действием постоянной нагрузки N_n (собственный вес конструкций и вес проезжей части по справочнику). Синим точечным пунктиром (-307 – -255) обозначены сжимающие усилия, внизу красным штриховым пунктиром (204–251) – растягивающие⁶.

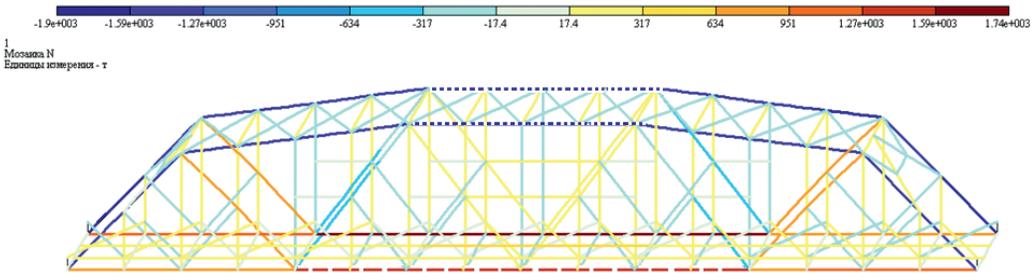


Рис. 7. Мозаика продольных усилий в элементах пролетного строения моста от действия сочетания постоянной нагрузки и временной вертикальной нагрузок ($N_B + N_n$). Синим точечным пунктиром сверху (-307 – -255) обозначены сжимающие усилия, внизу красным штриховым пунктиром (204–251) – растягивающие⁶.

Эффективная деформация ε_B выражается следующим образом:

$$\varepsilon_B = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 = n_\varepsilon, \quad (19)$$

где $n = 1$ для одного активного датчика (АД), $n = 2$ для двух АД.

Чувствительность измерительной системы, применённой в опытном образце системы мониторинга, определялась механическим методом градуировки (калибровки). Градуировка осуществлялась следующим образом: на вход измерительной системы подавались заранее известные значения деформации, а на выходе фиксировались реакции системы на эти воздействия.

Источником эталонной деформации служила тарированная консольная балка равного сопротивления (рис. 5). Тензорезисторы приклеивались на балку равного сопротивления по схеме b рис. 4, соединительные провода (длина, тип и т.п.) соответствовали используемым при измерениях на конструкциях моста [11–12].

Величина деформации балки равного сопротивления определялась по формуле:

$$\varepsilon = \frac{6Pl}{E\delta^2b}, \quad (20)$$

где P – действующая на конец консоли сосредоточенная сила;

l – расстояние от точки приложения силы P до любого произвольного сечения;

b – ширина сечения в заделке;

δ – толщина балки;

E – модуль упругости материала балки.

Коэффициент тензочувствительности для используемой партии тензорезисторов $S_g = 2,09$ задавался в базовых настройках регистрирующего устройства. После подключения мостовой схемы к модулю проводились балансировка измерительного моста, установка индикатора прибора в нулевое положение. Нагрузка создавалась грузами, которые накладывались на гиревой подвес, надетый на свободный конец балки. Грузы подбирались так, чтобы эталонные деформации, вычисленные по формуле (20), составляли величины 100, 200, 500, 1000 мкм/м. Коэффициент пропорциональности (цена деления шкалы измерительного прибора) для калибруемой измерительной системы определялся по формуле:

$$K_{\Pi} = \varepsilon_{\text{кал}}/d_r. \quad (21)$$

При проведении калибровки установлено, что система имеет линейный коэффициент общей чувствительности в диапазоне измерения деформаций от 100 до 1000 мкм/м, в данном диапазоне коэффициент пропорциональности $K_{\Pi} = 2000$.



Пороговые значения контролируемых прогибов в терминах «норма/тревога/авария»

№ п/п	Наименование показателя	N, т	$K = N_{max}/N_{pac}$
1	Пороговое значение границы «норма»/»тревога»	0...1190	0...0,8
2	Пороговое значение границы «тревога»/»авария»	1190...1489	0,7...1

* Приведённые численные значения уточняются по результатам накопления и статистического анализа измеренных в процессе проведения мониторинга продольных усилий возникающих под реально обещаемой подвижной нагрузкой.

При запуске системы контроля деформаций на объекте контроля проводится балансировка установленных измерительных мостов для каждого используемого модуля (установка индикаторов приборов в нулевое положение). Расчёт величины измеренных деформаций растяжения–сжатия ε_N , возникающих при прохождении подвижного состава от временной вертикальной нагрузки, в процессе мониторинга выполняется по следующей формуле:

$$\varepsilon_N = d_r \cdot K_{II} = 2000 d_r f \varepsilon_N] = [\text{мкмк/м}]. \quad (22)$$

Расчёт напряжений растяжения–сжатия σ_N , возникающих при прохождении подвижного состава от временной вертикальной нагрузки, выполняется по измеренным таким образом величинам деформаций ε_N согласно закону Гука:

$$\sigma_N = \frac{\varepsilon_N E}{1000000}, [\sigma_N] = [\text{МПа}], \quad (23)$$

где E – модуль Юнга материала конструкции $[E] = [\text{МПа}]$.

Модуль упругости при расчёте напряжений по формуле (23) принят равным 206000 МПа, согласно нормативным данным таблицы 8.13 СП 35.13330.2011¹.

Расчёт продольных усилий N , возникающих в элементах конструкции главной балки нижнего пояса фермы пролётного строения моста при прохождении подвижного состава от временной вертикальной нагрузки, выполняется по вычисленным величинам напряжений σ_N по формуле:

$$N = 100 \cdot \sigma_N \cdot S, [N] = [m], \quad (24)$$

где S – площадь поперечного сечения конструкции, m^2 .

Согласно имеющейся проектной документации, площадь поперечного сечения конструкции главной балки нижнего пояса фермы пролётного строения железнодорожного моста на контролируемом участке равна:

$$S = \frac{4 \cdot 140 \cdot 12 \cdot 2 + 2 \cdot 1000 \cdot 14 + 2 \cdot 1000 \cdot 12}{1000000} =$$

$$= 0,065 [m^2].$$

Оценку работы конструкций сооружения по измеренным таким образом значениям де-

формациям, напряжениям растяжения–сжатия и продольным усилиям, возникающим в конструкции при прохождении подвижного состава, рекомендуется выполнять в соответствии с Приложением В СП 79.13330.2012³ с помощью коэффициента, вычисляемого по формуле:

$$K = \frac{\varepsilon_{Nmax}}{\varepsilon_{pac}} = \frac{\sigma_{Nmax}}{\sigma_{pac}} \cdot \frac{N_{max}}{N_{pac}}, \quad (25)$$

где ε_{Nmax} , σ_{Nmax} , N_{max} – соответственно, максимальные измеренные значения деформаций, напряжений растяжения–сжатия и продольных усилий от временной вертикальной нагрузки; ε_{pac} , σ_{pac} , N_{pac} – соответственно, значения деформаций, напряжений растяжения–сжатия и продольных усилий от временной вертикальной нагрузки, определённые расчётным путём по действующим нормативным документам.

В частности значения коэффициента K , больше единицы, указывают на потерю несущей способности вследствие высокого коррозионного износа конструкции (уменьшения рабочей площади сечения балки). В этом случае необходимо срочно разрабатывать меры по обеспечению надёжной работы и усилению элементов конструкций.

Согласно результатам расчёта продольных усилий в элементах главной фермы пролётного строения моста [13, с. 124], выполненного методом конечных элементов, максимальные расчётные усилия от действия временной вертикальной нагрузки на контролируемом участке составляют:

$$N_{pac} = (N_B + N_{II}) - N_B = 1740 - 251 = 1489 \text{ т}.$$

Расчёт выполнялся путём математического моделирования по существующей проектной документации на сооружение, без учёта фактического износа конструкций, с допусками согласно СП 35.13330.2011 и СП РК 3.03-112-2013. Из мозаики продольных усилий (рис. 6, 7), видно, что согласно расчёту наибольшие постоянные и временные растягивающие усилия испытывает нижний пояс фермы.

Рекомендуемые на период опытной эксплуатации пороговые значения в терминах «норма/тревога/авария», для измеряемых продольных усилий от временной вертикальной нагрузки, приведены в табл. 3.

КРАТКИЙ ВЫВОД

Авторами выполнен анализ экспериментальных и расчётных данных более 30 мостов и путепроводов [14–17]. Предлагаемые в данной работе методики рекомендуется использовать при разработке автоматизированных систем мониторинга технического состояния пролётных строений больших и уникальных железнодорожных мостов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хазанов М. Л. Анализ напряжённно-деформированного состояния мостовых конструкций с использованием компьютерной измерительной системы // Дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ. – 2007. – 130 с. [Электронный ресурс]: <https://www.disscat.com/content/analiz-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-mostovykh-konstruktsii-s-ispolzovaniem-komp>. Доступ 24.05.2021.

2. Кобаяси А. Экспериментальная механика. Монография в 2 кн.: Кн. 1 / Пер. с англ.; под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 552 с.

3. Kaloop, M., Hu, Jong. Dynamic Performance Analysis of the Towers of a Long-Span Bridge Based on GPS Monitoring Technique. Journal of Sensors, 2016, Article ID 7494817, 14 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7494817>.

4. Yang, Y.; Li, S.; Yan, B. Specifications and applications of the technical code for monitoring of building and bridge structures in China. Advances in Mechanical Engineering, 2017, Vol. 9 (1), pp. 1–10. DOI: <http://doi:10.1177/1687814016684272>.

5. Lienhart, W., Ehrhart, M. State of the art of geodetic bridge monitoring Structural Health Monitoring: System Reliability for Verification and Implementation – Proceedings of the 10th International Workshop on Structural Health Monitoring, IWSHM, 2015. DOI: <https://doi:10.12783/SHM2015/58>.

6. Belyi, A., Karapetov, E., Efimenko, Yu. Structural Health and Geotechnical Monitoring During Transport Objects Construction and Maintenance (Saint-Petersburg Example). Procedia Engineering, 2017, Vol. 189, pp. 145–151. DOI: <https://doi:10.1016/j.proeng.2017.05.024>.

7. Бондарь И. С., Квашнин М. Я., Косенко С. А. Диагностика и мониторинг балочных пролётных строений железнодорожных мостов. Политранспортные системы. Материалы IX Международной научно-техн. конф. по направлению «Научные проблемы реализации

транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке». – СГУПС, Новосибирск, 2017. – С. 35–43.

8. Бондарь И. С. Измерение деформаций балочных пролётных строений мостов // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 6. – С. 36–51. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1086>. Доступ 24.05.2021.

9. Бондарь И. С., Квашнин М. Я., Алдекеева Д. Т., Зайцев А. А. Инструментальная диагностика металлических железнодорожных мостов // Тр. XV Международной научно-техн. конф. «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвященные памяти профессора Г. М. Шахунянца. – М.: МГУПС (МИИТ), 2018. – С. 259–265.

10. Бондарь И. С., Квашнин М. Я., Алдекеева Д. Т. Напряжённно-деформированное состояние железобетонного путепровода под нагрузкой // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 68–81. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-68-81>.

11. Bonessio, N., Lomiento, G., Benzoni, G. Damage Identification Procedure for Seismically Isolated Bridges. Structural Control Health Monitoring, 2011, Vol. 19, pp. 565–578. DOI: <https://doi:10.1002/stc.448>.

12. Lanis, A., Razuvaev, D., Lomov, P. Conjugation of approach fill with bridge and overbridge. The Russian Automobile and Highway Industry Journal, 2016, Vol. 2 (48), pp. 110–120. DOI: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-2\(48\)-110-120](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-2(48)-110-120).

13. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Филиппова В. О. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 1. Причины // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 6. DOI: <http://doi:10.15862/07KO615>.

14. Solonenko, V. G., Makhmetova, N. M., Nikolaev, V. A., Kвашnin, M. Ya., Bekzhanova, S. E., Bondar, I. S., Mirzabaev, S. A. Analysis of the stress-strain state of travel pipes with the use of hardware and software complex. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2020, Vol. 1, Iss. 439, pp. 181–188. DOI: <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.22>.

15. Abdullayev, S. S., Bondar, I. S., Bakyt, G. B., Ashirbayev, G. K., Budiukin A. M., Baubekov Ye. Ye. Interaction of frame structures with rolling stock. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2021, Vol. 1, Iss. 445, pp. 22–28. DOI: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.3>.

16. Abdullayev, S. S., Bakyt, G. B., Aikumbekov, M. N., Bondar, I. S., Auyesbayev, Ye. T. Determination of natural modes of railway overpasses. Journal of Applied Research and Technology, 2021, Vol. 19, Iss. 1, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1487>.

17. Квашнин М. Я., Бекжанова С. Е., Акбаева А. С., Бондарь И. С., Курбенова А. К. К вопросу безопасной эксплуатации искусственных сооружений железнодорожных магистралей // Вестник КазГАСА. – Алматы, 2021. – № 1 (79). – С. 229–241. DOI: <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.1-30>. ●

Информация об авторах:

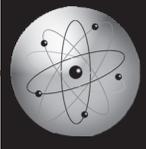
Квашнин Николай Михайлович – кандидат технических наук, главный инженер проектов НТЦ Дирекции развития ФГУП «ЗащитаИнфоТранс», Москва, Россия, kvashnin_nm@mail.ru.

Бондарь Иван Сергеевич – кандидат технических наук, PhD по транспортному строительству, ассоциированный профессор Факультета общего строительства Международной Образовательной Корпорации (КазГАСА), Алматы, Казахстан, ivan_sergeevich_08@mail.ru.

Квашнин Михаил Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, ассоциированный профессор кафедры транспортного строительства Академии логистики и транспорта (АЛУТ), Алматы, Казахстан, kvashnin_mj55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.03.2021, одобрена после рецензирования 24.05.2021, принята к публикации 08.06.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.2.004:625.066
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-4>

Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков



Игорь ЧЕРНЯЕВ



Сергей ЕВТЮКОВ

*Игорь Олегович Черняев¹,
Сергей Аркадьевич Евтюков²*

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия.

✉ ¹ chernyaev@rambler.ru.

АННОТАЦИЯ

Разработка адаптивных систем технического обслуживания и ремонта автомобильной техники ставит задачи мониторинга условий их эксплуатации. Одним из основных факторов, определяющих эти условия, является тип дорожного покрытия.

В статье изложены полученные теоретическими и экспериментальными методами результаты определения типа (и состояния) дорожного покрытия на основе анализа вертикальных ускорений, регистрируемых на кузове транспортного средства.

Целью разработки является обеспечение возможности непрерывного контроля типа дорожного покрытия, по которому осуществляется движение автомобиля, с последующим использованием полученных данных для коррекции сервисного интервала. В статье приведены результаты экспериментов, показывающие зависимость вертикальных ускорений кузова от микропрофиля дорожного покрытия. Приведены экспериментально полученные профили вертикальных ускорений для различных типов дорожного покрытия в различном состоянии. Для количественной оценки предложено

рассчитывать средний уровень ускорений как интегральное среднее на определённом интервале времени.

По результатам экспериментов обоснована эмпирическая зависимость среднего уровня ускорений от скорости движения транспортного средства. На основе данной зависимости предложен метод пересчёта текущих значений средних уровней ускорений, полученных при различных скоростях, в значения, приведённые к базовой скорости для обеспечения возможности их сравнения.

Показано, что на основе полученных в результате мониторинга эксплуатации значений средних уровней ускорений для заранее известного типа покрытия возможно определение его состояния. Сформулирован краткий алгоритм для практической реализации и выполнения оценки дорожных условий движения транспортных потоков. В качестве аппаратной базы предлагается не дооснащение транспортного средства дополнительными датчиками, а использование штатных акселерометров в составе автоматизированных информационных систем экстренного реагирования при авариях, например, блоков оборудования ЭРА-ГЛОНАСС.

Ключевые слова: транспорт, автомобильный транспорт, мониторинг эксплуатации транспортных средств, условия эксплуатации, адаптивные системы технического обслуживания, ГЛОНАСС, ЭРА-ГЛОНАСС.

Для цитирования: Черняев И. О., Евтюков С. А. Использование данных мониторинга эксплуатации транспортных средств для оценки дорожных условий движения транспортных потоков // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-4>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, характеризующихся разукрупнением автопредприятий и ростом доли транспортных средств (ТС), эксплуатируемых индивидуальными владельцами [1], продолжающая применяться в подавляющем большинстве случаев для организации процессов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) ТС планово-предупредительная система теряет свою эффективность [2; 3].

Актуальной является задача разработки так называемых адаптивных систем ТО и Р, которые позволят принимать решение о выполнении технических воздействий индивидуально для каждого транспортного средства, повышая тем самым эффективность процессов обеспечения их технической готовности [4–6]. Решению данной задачи способствует современный уровень техники и информационных технологий, позволяющий реализовывать такую составляющую интеллектуальных транспортных систем, как мониторинг эксплуатации ТС [7].

Мировой опыт развития систем эксплуатации транспортных средств показывает, что крупные мировые производители автомобильной техники для её новых образцов начинают реализовывать гибкие графики технического обслуживания, корректируемые в режиме реального времени в зависимости от условий эксплуатации [8]. В первую очередь, данный подход к организации проведения обслуживания внедряется для грузовой и специальной техники, для транспортных средств, эксплуатирующихся в особых условиях, для которых повышение эффективности эксплуатации особенно важно и даёт значительный экономический эффект [9]. Так, «гибкие» планы технического обслуживания сегодня могут применяться для грузовых автомобилей марок Mercedes, Scania, Volvo [10]. Отечественные производители (КамАЗ) также разрабатывает аналогичные системы, пока однако не получившие широкого распространения [11].

Однако как зарубежные [12–16], так и отечественные [7; 17; 18] подходы в качестве источников информации для принятия решений о выполнении обслуживания рассматривают в основном данные телеметрии рабочих процессов агрегатов, управляющих воздействий со стороны водителя и скорости движения транспортного средства. Один из ос-

новных факторов внешней среды – тип дорожного покрытия, не рассматривается.

В связи с этим, *целью* статьи является изложение результатов исследований, направленных на разработку метода оценки дорожных условий движения транспортных потоков на основе данных мониторинга эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как показано выше, одним из основных нормативов ТО и Р является периодичность технического обслуживания. В планово-предупредительной системе она определяется с учётом базовой периодичности ТО и значений корректирующих коэффициентов, которые учитывают, в том числе, дорожные условия [19].

В одном из вариантов адаптивных систем ТО и Р значения корректирующих коэффициентов определяются индивидуально для каждого ТС на основе данных мониторинга эксплуатации. При реализации данного подхода для определения в режиме реального времени типа дорожного покрытия, на котором осуществляется эксплуатация ТС, предлагается использование непрерывного контроля вертикальных ускорений поддресоренных масс, регистрируемых на кузове ТС.

Данный способ основан на том, что взаимодействие колёс ТС с неровностями дороги является основным источником вынужденных колебаний элементов конструкции ТС. Степень силовых воздействий колебательных процессов на элементы конструкции оценивается параметрами, связанными с ускорениями, а параметры колебательных процессов элементов конструкции ТС в процессе движения имеют непосредственную связь с микропрофилем дороги, по которой это движение осуществляется [20]. Микропрофиль, в свою очередь, определяет не только тип, но и состояние дорожного покрытия. Таким образом, для определения в режиме реального времени типа и состояния дорожного покрытия возможно использование непрерывного контроля вертикальных ускорений, регистрируемых на кузове ТС.

Для подтверждения данной гипотезы были использованы экспериментальные *методы* исследования – по сигналам с трёхпозиционного акселерометра, жёстко закреплённого на кузове транспортного средства, выполнены построения профилей вертикальных ускоре-



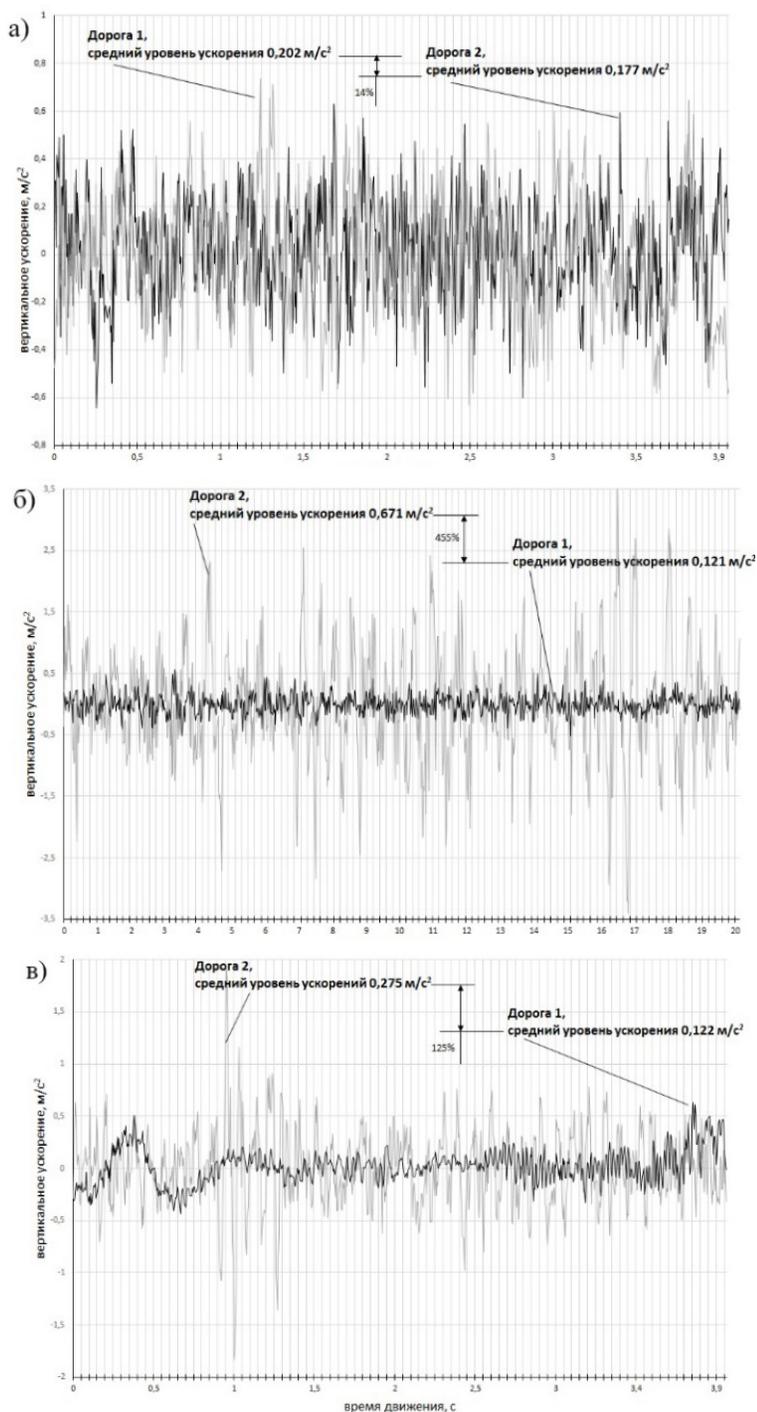


Рис. 1. Профили вертикальных ускорений кузова ТС категории М1 при движении по дорогам с различными типами покрытий в различном состоянии (скорость 30 км/ч): а) дорога 1 и дорога 2 – асфальтобетон в хорошем состоянии; б) дорога 1 – асфальтобетон, дорога 2 – грунт, улучшенный местными материалами; в) дорога 1 – асфальтобетон в хорошем состоянии, дорога 2 – асфальтобетон в удовлетворительном состоянии (выполнено авторами).

ний с шагом записи параметров 5...10 мс. Результаты представлены на рис. 1.

Для обеспечения возможности идентификации типа и состояния дорожного покрытия

не только визуальным методом (по форме графиков), но и в автоматическом режиме на основе математической обработки массива данных о вертикальных ускорениях, введена

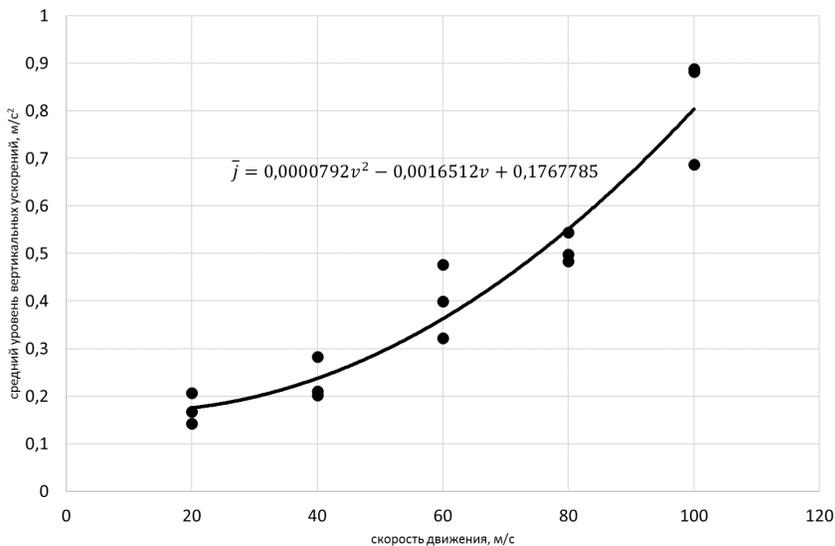


Рис. 2. Зависимость среднего уровня вертикальных ускорений кузова от скорости движения транспортного средства (выполнено авторами).

величина среднего уровня ускорений, рассчитываемая по формуле:

$$\bar{j}(t) = \frac{1}{\delta} \int_{t-\delta}^t j(t) dt, \quad (1)$$

где $j(t)$ – текущее значение ускорения в момент времени t , м/с²;

δ – период времени для определения среднего уровня ускорений, с;

$\bar{j}(t)$ – значение среднего уровня ускорений в момент времени t , м/с².

Формула (1) является аналогом формул, используемых при анализе профилей ускорений для определения уровня силовых воздействий и значений индекса возможного ущерба ASI в системе ЭРА-ГЛОНАСС¹. В рассматриваемом случае оценивается результат протекания тех же процессов, за исключением того, что объектом воздействия является не человек (пассажир), а ТС. В связи с этим использование формулы (1) может быть признано адекватным.

Экспериментальные данные и результаты расчёта позволяют говорить о том, что величины средних уровней ускорений могут быть использованы для идентификации типа дорожного покрытия. Так, одинаковые дорожные покрытия имеют сходные профили

ускорений и мало отличающиеся величины среднего уровня ускорений (рис. 1а), в то время как разница средних уровней ускорений для асфальтобетонного и грунтового покрытий может достигать 4,5 раз (рис. 1б).

В то же время для асфальтобетонного покрытия в удовлетворительном состоянии значение среднего уровня ускорений может превышать значение для покрытия в хорошем состоянии более чем в два раза (рис. 1в). С точки зрения реализации адаптивных систем ТО и Р, для принятия решений о выполнении очередного технического обслуживания важна исключительно оценка силового воздействия со стороны дороги на элементы конструкции транспортного средства, которое приводит к ухудшению технического состояния. При этом сходные по уровню силовые воздействия может оказать как грунтовое покрытие в хорошем состоянии, так и асфальтобетонное покрытие в удовлетворительном состоянии. Однако, если тип дорожного покрытия, по которому осуществляется движение, заранее известен, то данные мониторинга вертикальных ускорений и рассчитанный их средний уровень могут быть использованы для оценки состояния дорожного покрытия.

Следует сказать, что представленные на рис. 1 экспериментальные данные справедливы для одной постоянной скорости движения ТС. Так как величина силового воздействия со стороны дороги не может не зависеть от скорости, а в процессе движения скорость



¹ ГОСТ Р 54620-2011. Глобальная навигационная спутниковая система. Система экстренного реагирования при авариях. Автомобильная система вызова экстренных оперативных служб. Общие технические требования. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095073>. Доступ 14.07.2021.

ТС непостоянна, для практического применения предлагаемого способа оценки состояния дорожного покрытия требуется оценка характера зависимости среднего уровня вертикальных ускорений кузова ТС от скорости движения.

Для этого были произведены экспериментальные определения среднего уровня вертикальных ускорений при движении одного и того же транспортного средства по одному и тому же участку дороги с асфальтобетонным покрытием с разными скоростями движения. Результаты эксперимента вместе с аппроксимирующей зависимостью приведены на рис. 2.

Зависимость среднего уровня вертикальных ускорений кузова транспортного средства от скорости движения аппроксимирована степенной зависимостью второй степени исходя из того, что вынужденные колебания кузова связаны с кинетической энергией, которой обладает ТС, взаимодействуя с неровностями микропрофиля дороги, а кинетическая энергия пропорциональна квадрату скорости.

Нелинейность реальной зависимости уровня силовых параметров воздействия на транспортное средство от микропрофиля дороги подтверждается также положениями действующих методических рекомендаций по исследованию ровности дорожных покрытий². Однако на практике для упрощения применения предлагается использовать линейные зависимости вида $\bar{j} = kv$. Их применение не приведёт к значительной потере точности (точность аппроксимации меньше на 3 % по сравнению с полиномиальной зависимостью второго порядка). Это позволит учесть условие равенства нулю среднего уровня ускорений при нулевой скорости и осуществлять приведение значений среднего уровня ускорений к одной и той же «базовой» скорости для обеспечения возможности сравнительной оценки состояния дорожного покрытия на различных участках без проведения предварительных испытаний для определения точного характера зависимостей. Если в качестве базовой скорости принять

скорость, равную 60 км/ч, то приведённое значение среднего уровня ускорений будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\bar{j}_{60}(t) = 60 \frac{\bar{j}(t)}{v(t)}. \quad (2)$$

Также для практического применения описанного метода необходимо обосновать величину интервала времени δ , являющегося базой для расчёта среднего уровня ускорений. Для этого следует учесть, что состояние дорожного покрытия определяется на участке дороги некоторой протяжённости. Так как с помощью описанного метода состояние дорожного покрытия оценивается локально, то в соответствии с рекомендациями², длина участка дороги в данном случае должна составлять от 25 до 100 м. В первом приближении для обеспечения точности выбрано усреднённое значение, равное 50 м. В таком случае временная база для расчёта среднего уровня ускорений будет зависеть от скорости транспортного средства в текущий момент времени:

$$\delta = 50v^{-1}. \quad (3)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, для оценки дорожных условий на основе данных о вертикальных ускорениях кузова ТС можно предложить следующую последовательность действий:

- определение координат транспортного средства (φ , λ) и текущего момента времени t ;
- определение скорости транспортного средства в текущий момент времени $v(t)$;
- определение временной базы для расчёта среднего уровня ускорений по формуле 3;
- определение среднего уровня ускорений по формуле 1;
- приведение среднего уровня ускорений к базовой скорости по формуле 2;
- определение состояния дорожного покрытия путём сравнения приведённого уровня среднего уровня ускорений с заранее установленными пороговыми значениями.

Реализация предложенного механизма возможна в России в качестве дополнительного функционала системы ЭРА-ГЛОНАСС (или аналогичных зарубежных систем). Его применение позволит не только обеспечить индивидуальную корректировку периодичности технического обслуживания ТС, но и осуществлять экспресс-контроль состояния дорожного покрытия в режиме реального времени.

² ОДМ 218.11.001-2015. Методические рекомендации по учёту увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/456020155>. Доступ 14.07.2021.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Verevkin, N., Lavrentyev, E., Chernyaev, I., Gurin, D. Method of Providing Safe Technical Condition of Vehicles by Technological Design of Enterprises. *Transportation Research Procedia*, 2017, Vol. 20, pp. 665–670. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.108.
2. Dobromirov, V., Verhorubov, V., Chernyaev, I. Systematizing the factors that determine ways of developing the vehicle maintenance system and providing vehicle safety. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 114–121. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.052.
3. Детлер М. Ф., Криворотов А. В., Недолужко А. И., Парубец А. Ю. К вопросу применения нормативов планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к современным автомобилям // ИВД. – 2017. – № 2 (45). – С. 14–22. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29911672>. Доступ 14.07.2021.
4. Бердников И. Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин // Дис... канд. техн. наук ЗабГУ. – Чита, 2017. – 217 с. [Электронный ресурс]: <https://brstu.ru/docs/podrazdeleniya-brgu/dissert-sovet/berdnikov-ie/dissertaciya-berdnikov.pdf>. Доступ 14.07.2021.
5. Дидманидзе О. Н., Варнаков Д. В., Варнаков В. В. Концепция технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надёжности // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. Н. Горячкина. – 2016. – № 2 (72). – С. 51–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25791809>. Доступ 14.07.2021.
6. Попов Д. А., Никонов В. О., Панин М. А. Перспективный подход к установлению периодичности технического обслуживания автомобилей // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 2 (284). – С. 24–29. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37218559>. Доступ 14.07.2021.
7. Мороз С. М. Сервисы ИТС для технической эксплуатации автомобилей // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 9. – С. 21–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24349424>. Доступ 14.07.2021.
8. Taghipour, S., Banjevic, D. Optimum inspection interval for a system under periodic and opportunistic inspections. *IIE Transactions*, 2012, Vol. 44, Iss. 11, pp. 932–948. DOI: 10.1080/0740817X.2011.618176.
9. Савин Л. О., Королёв М. В., Носов М. В. Анализ определяющих параметров и возможностей использования гибких стратегий технического обслуживания для повышения надёжности автомобильной техники при её эксплуатации в особых условиях // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 9–20. DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-2-9-20.
10. Biteus, J., Lindgren, T. Planning Flexible Maintenance for Heavy Trucks Using Machine Learning Models, Constraint Programming, and Route Optimization. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 2017, Vol. 10, Iss. 3, pp. 306–315. DOI: 10.4271/2017-01-0237.
11. Иванов А. В., Селезнев М. В. К вопросу о периодичности смены трансмиссионных масел в процессе эксплуатации автомобилей // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 10 (65). – С. 94–102. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27193429>. Доступ 14.07.2021.
12. Vakiti, K., Deussen, J., Pilger, C., Nanjundaswamy, H. K. [et al]. In-Use Compliance Opportunity for Diesel Powertrains. *SAE Technical Papers*, 2018, 14 p. DOI: 10.4271/2018-01-0877.
13. Nanjundaswamy, H., Deussen, J., Sickle, R., Tomazic, D., Szailer, T., Franke, M., Kotter, M., Körfer, T. OBD Diagnostic Strategies for LEVIII Exhaust Gas Aftertreatment Concepts. *SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems*, 2015, Vol. 8 (1). DOI: 10.4271/2015-01-1040.
14. Rengasamy, D., Jafari, M., Rothwell B., Xin Chen, Figueredo, G. P. Deep Learning with Dynamically Weighted Loss Function for Sensor-Based Prognostics and Health Management. *Sensors (Switzerland)*, 2020, Vol. 20, Iss. 3 (723), 21 p. DOI: 10.3390/s20030723.
15. Rahat, M., Pashami, S., Nowaczyk, S., Kharazian, Z. Modeling Turbocharger Failures using Markov Process for Predictive Maintenance. Paper presented at the 30th European Safety and Reliability Conference, ESREL, 2020 and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM 2020, pp. 3431–3437. [Электронный ресурс]: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1505794/FULLTEXT01.pdf>. Доступ 14.07.2021.
16. Dobry, P., Lehmann, T., Bertsche, B. Two-Step Data Mining Method to Identify Failure Related Driving Patterns. Paper presented at the Proceedings – Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/RAM.2018.8463004.
17. Болдин А. П. Научные основы разработки и использования систем внешнего и встроенного диагностирования на автомобильном транспорте // Дис... док. техн. наук. – М., 1994. – 430 с.
18. Озорнин С. П., Бердников И. Е. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации // Вестник ЗабГУ. – 2014. – № 8. – С. 64–69. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22024780>. Доступ 14.07.2021.
19. Кузнецов Е. С., Болдин А. П., Власов В. М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник / 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Наука, 2001. – 535 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/kuznecoves-tehnicheskaya-ekspluataciya-avtomobiley_a8f713edcf5.html. Доступ 14.07.2021.
20. Любимов И. И., Сычёв А. М. Об аналитическом определении показателей динамики колесной нагрузки транспортных машин при случайных колебаниях // Вестник СГТУ. – 2005. – № 1 (9). – С. 71–79. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18286899>. Доступ 14.07.2021. ●

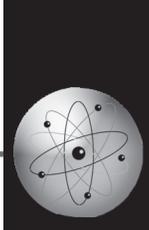
Информация об авторах:

Черняев Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации транспортных средств Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), Санкт-Петербург, Россия, chernyaev@rambler.ru.

Евтюков Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ), Санкт-Петербург, Россия, s.a.evt@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.06.2020, актуализирована 14.07.2021, одобрена после рецензирования 26.07.2021, принята к публикации 29.07.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 004.942.62.342
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-5>

Моделирование механизмов как методический инструмент (на примере проектирования циклоидально-цевочной передачи)



Максим СТЕКОЛЬНИКОВ



Людмила МИЛОВАНОВА



Ирина ЧЕЛЫШЕВА

Максим Владимирович Стекольников¹, Людмила Руслановна Милованова², Ирина Александровна Чельшева³

^{1, 3} Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, Саратов, Россия.

² Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ stekolnikov2008@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Демонстрируется современный подход к моделированию объектов и систем, позволяющий не только создавать модели, но и на их основе с высокой степенью наглядности и адекватности изучать основные характеристики объекта (системы), в том числе для формирования у молодых инженеров важнейших компетенций по созданию и применению цифровых моделей технических объектов.

Целью исследования является анализ возможностей одной из современных систем автоматизированного проектирования как методического инструмента.

Рассмотрен пример построения модели планетарной циклоидально-цевочной передачи с использованием функциональных возможностей конструкторской САПР. В результате создаётся модель, позволяющая визуализировать кинематику проектируемого механизма в виде статических или подвижных графических изображений. Построенная на основе описанного подхода модель содержит цифровые образы деталей механизма, которые могут без доработки быть

переданы в специализированные программные системы для анализа прочностных характеристик или изготовления материальных макетов изделия с использованием методов быстрого прототипирования.

Предложенный подход позволяет обрабатывать действия по анализу свойств и синтезу новых конструкций с использованием инструментов, соответствующих современному уровню развития техники, и получать наглядное представление о процессе создания машины от математической модели до её материального воплощения.

Методы исследования основаны на базовых принципах математического и имитационного моделирования, анализе данных и их обработке с помощью средств автоматизированного проектирования.

Важным свойством применяемых для моделирования инструментов является возможность реализации на их основе учебного процесса в различных формах организации, в том числе без привязки к конкретным помещениям и оборудованию.

Ключевые слова: транспорт, системы автоматизированного проектирования, планетарный механизм, циклоидально-цевочная передача.

Для цитирования: Стекольников М. В., Милованова Л. Р., Чельшева И. А. Моделирование механизмов как методический инструмент (на примере проектирования циклоидально-цевочной передачи) // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-5>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач современного производства, а также подготовки к нему будущих технических специалистов можно назвать необходимость формирования компетенций по созданию комплексных моделей будущих изделий. Неотъемлемой частью этих компетенций является умение использовать различные цифровые инструменты, такие как системы автоматизации математических расчётов, системы автоматизированного проектирования, пакеты разработки иллюстративного материала и подготовки управляющих программ для технологического оборудования.

Целью настоящего исследования является оценка и наглядная демонстрация возможностей использования цифровых инструментов проектирования при разработке конструкции машиностроительного изделия, например, такого как редуктор на основе циклоидально-цевочной передачи. Этот тип механических передач хорошо известен и достаточно широко используется, демонстрируя свою эффективность. Однако в обучающей учебно-методической литературе информация по данному типу передач представлена в сравнительно малом объёме.

Конструктивная схема редуктора [1] представлена на рис. 1. Круглый эксцентрик 1 с осью B вращается вокруг неподвижной оси A . Шайба 3, охватывающая эксцентрик 1, имеет зубья b , входящие в зацепление с круглыми цевками 4, вращающимися вокруг неподвижных осей E . Шайба 6 жёстко связана с валом

2, вращающимся вокруг оси A , и имеет цевки 7, вращающиеся вокруг осей D шайбы 6 и перекатывающиеся по внутренней стороне круглых отверстий, с центром в точке C шайбы 3. Размеры звеньев механизма удовлетворяют условиям $AB = DC$ и $BC = AD$, т.е. фигура $ABCD$ является параллелограммом.

При вращении эксцентрика 1 вокруг оси A шайба 3 входит в зацепление с цевками 4 и тем самым приводит во вращение вал 2.

Передаточное отношение механизма:

$$u_{21} = \frac{Z_4 - Z_3}{Z_3},$$

где Z_4 – число цевок 4;

Z_3 – число зубьев шайбы 3.

При внутреннем циклоидально-цевочном зацеплении [2] профиль зубьев меньшего колеса (сателлита, рис. 2) определяется как расположенная на расстоянии $D_{цев}/2$ эквидистанта 1 к укороченной эпициклоиде 3, формирующейся при обкатке ролика радиусом $r_{оп}$ по окружности 2, радиус которой равен $R_{ок}$ (расстояние от центра ролика до точки, формирующей укороченную эпициклоиду, равно r_u). Полная эпициклоида 4 показана на рис. 2б. Параметры циклоидального профиля связаны между собой зависимостями:

$$r_{оп} = \frac{R_{ок}}{Z_k},$$

где Z_k – число зубьев колеса;

$$R_{ок} = \frac{Z_k}{Z_u} \cdot R_u,$$

где Z_u – количество цевок, расположенных по окружности радиуса R_u .

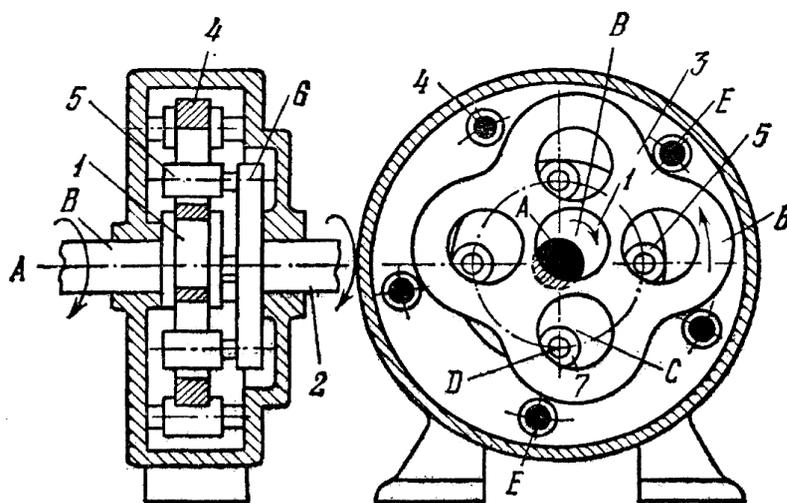


Рис. 1. Циклоидально-цевочный планетарный механизм с внутренним зацеплением [1].

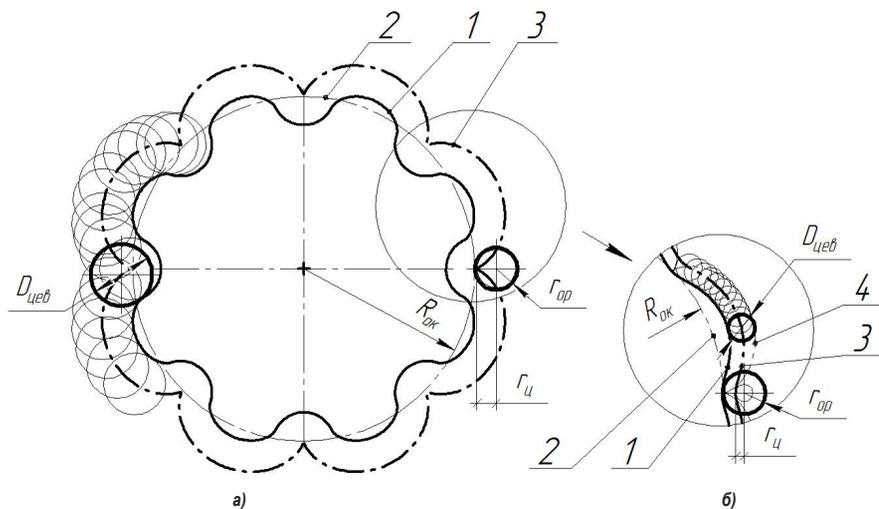


Рис. 2. Схема образования профиля циклоидального колеса (выполнено авторами).

Введём обозначения:

$$a = \frac{r_{ц}}{r_{оп}},$$

$$b = \frac{Z_{ц} - Z_{к}}{Z_{к}}.$$

Тогда параметрические уравнения укороченной эпициклоиды, образующей траекторию перемещения центра цевки относительно колеса, примут вид:

$$\begin{aligned} x(t) &= R_{ок} \cdot [(1+b) \cdot \cos bt - a \cdot b \cdot \cos(1+b)t]; \\ y(t) &= R_{ок} \cdot [(1+b) \cdot \sin bt - a \cdot b \cdot \sin(1+b)t]. \end{aligned} \quad (1)$$

Профиль колеса формируется как внутренняя эквидистанта к укороченной эпициклоиде на основании формул:

$$\begin{aligned} x_{экс}(t) &= x(t) - \frac{\left(\frac{D_{цвб}}{2}\right) \cdot y'(t)}{\sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2}}; \\ y_{экс}(t) &= y(t) + \frac{\left(\frac{D_{цвб}}{2}\right) \cdot x'(t)}{\sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2}}. \end{aligned} \quad (2)$$

производные $x'(t)$, $y'(t)$:

$$\begin{aligned} x'(t) &= R_{ок} \cdot [(1+b) \cdot b \cdot (-\sin bt) - a \cdot b \cdot (1+b) \cdot (-\sin(1+b)t)]; \\ y'(t) &= R_{ок} \cdot [(1+b) \cdot b \cdot \cos bt - a \cdot b \cdot (1+b) \cdot \cos(1+b)t]. \end{aligned}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование проводилось на основании приведённых выше зависимостей с использованием возможностей системы MathCAD. На первом этапе было выполнено построение графиков, позволяющих предварительно оценить вид профиля зубчатого колеса (рис. 3). Укороченная эпициклоида (траектория перемещения центра цевки) со-

ответствует графику 1 на всех рисунках. Различный вид этой траектории соответствует разным значениям параметра a в уравнениях (1). Графики 2 и 3, построенные по уравнениям (2), иллюстрируют положение профиля колеса при разных значениях диаметра цевок $D_{цвб}$.

Функционал системы математического моделирования позволяет быстро построить графическую модель профиля и, не проводя долгих построений, вносить коррективы в параметры и производить обновление вида профиля. Однако для формирования конструкторской документации или непосредственного использования результатов такого расчёта для подготовки данных, на основании которых можно было бы выполнить подготовку технологического процесса, система автоматизации математических расчётов не годится.

Методические рекомендации по построению этого профиля [3–27] фактически предлагают копировать подход, применяемый при проектировании с использованием обычных чертёжных инструментов, только переведённых в цифровой формат. Кривая строится по точкам с использованием кинематического метода для определения координат узлов и встроенных команд системы по построению плавных кривых (NURBS, кривая Безье) по массиву точек. Построение эквидистанты также выполняется с помощью встроенной команды системы. Этот способ является весьма трудоёмким, требует многократного выполнения однотипных операций, что может

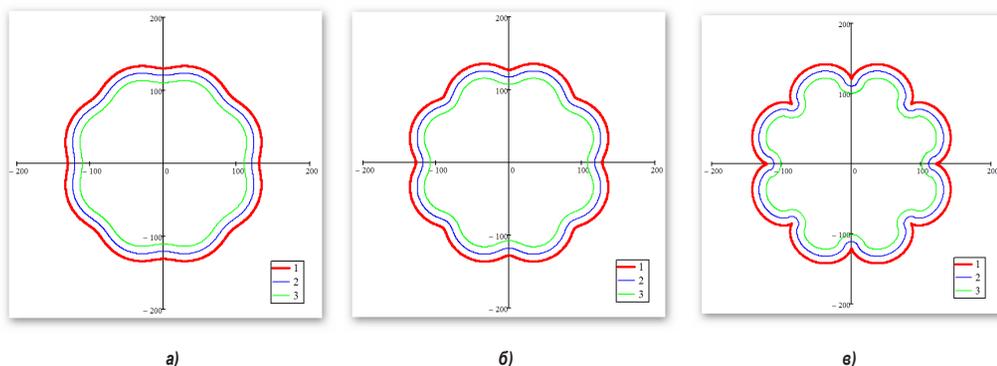


Рис. 3. Результаты моделирования профиля зубчатого колеса в системе автоматизации математических расчётов (выполнено авторами).

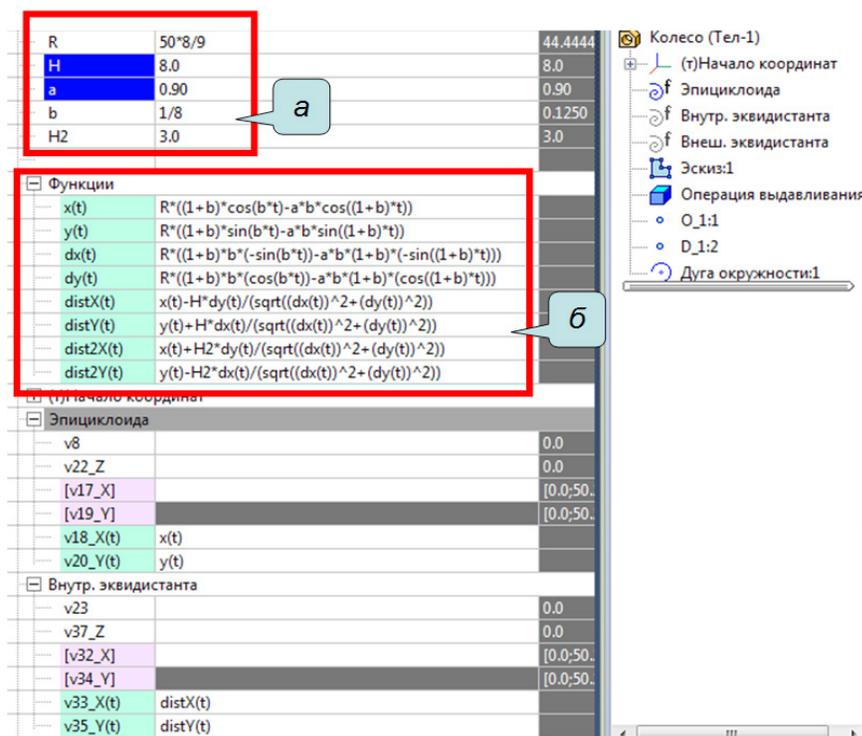


Рис. 4. Система управляющих переменных 3D-модели циклоидального зубчатого колеса (выполнено авторами).

приводить к ошибкам и увеличивает срок проектирования. Особенно это заметно при необходимости внесения корректировок в ранее выполненные построения.

Возможности, которыми обладают современные системы 3D-моделирования, позволяют исключить из процесса разработки 3D-модели выполняемые «вручную» этапы. Для этого используются так называемые параметрические возможности этих систем. Например, если в системе КОМПАС (АС-КОН, Россия) задать группу переменных модели (рис. 4а), соответствующих параметрам формул (1), и группу пользовательских

функций (рис. 4б), воспроизводящих зависимости (2), в пространстве модели формируется кривая, образующая замкнутый контур, к которому применяется операция «выдавливания». В результате получается готовая цифровая 3D-модель.

При необходимости корректировки параметров (диаметры цевок, коэффициенты укорочения, радиус окружности, на которой расположены цевки) можно ограничиться изменением числовых значений в области переменных (рис. 4а), и перестроение контура, а также и всей 3D-модели, будет осуществляться автоматически.



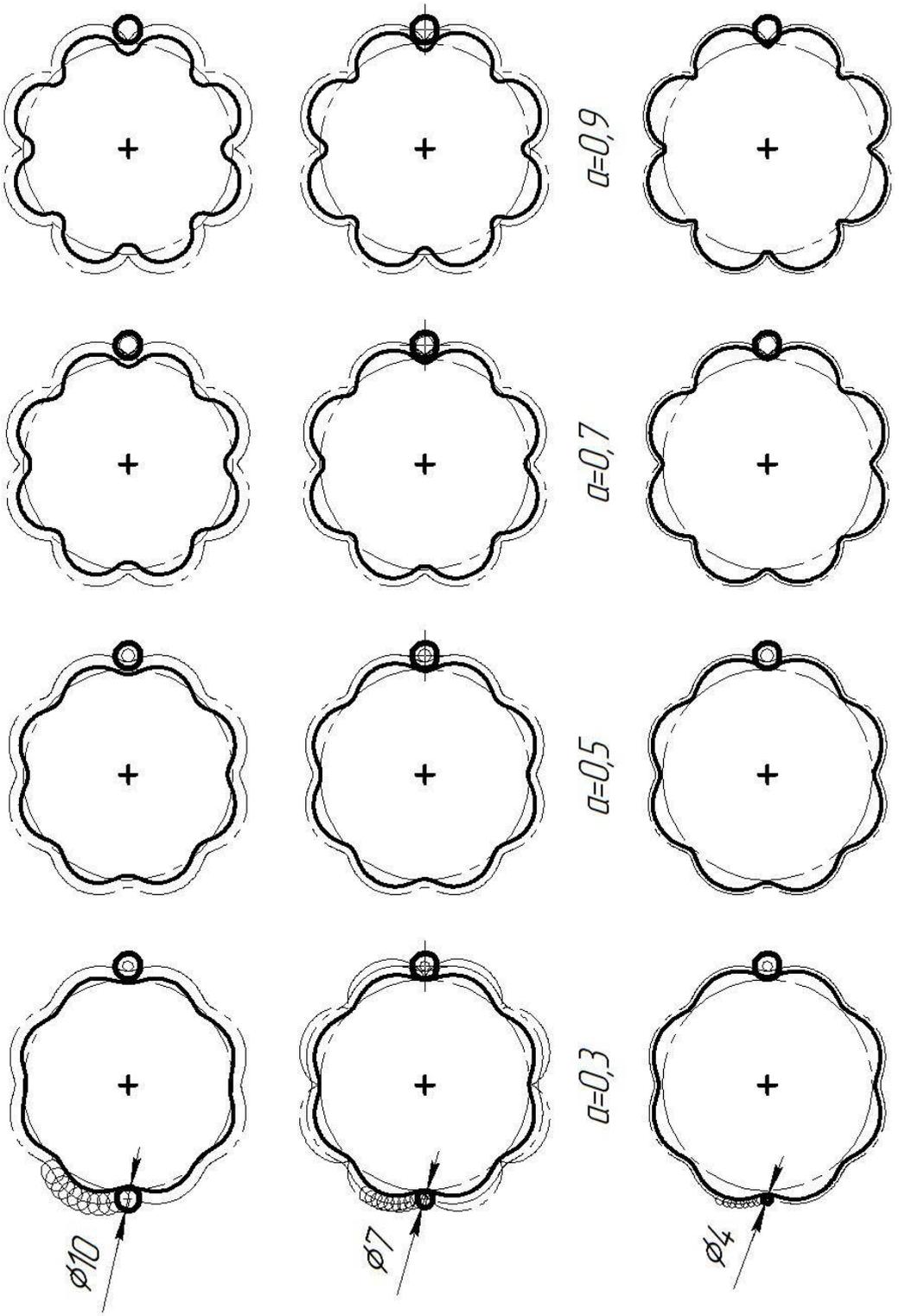


Рис. 5. Рабочие профили циклоидальных колёс, для различных значений параметра $0,3 < a < 0,9$ и диаметра цевки $d_u = 4, 7, 10$ мм (выполнено авторами).

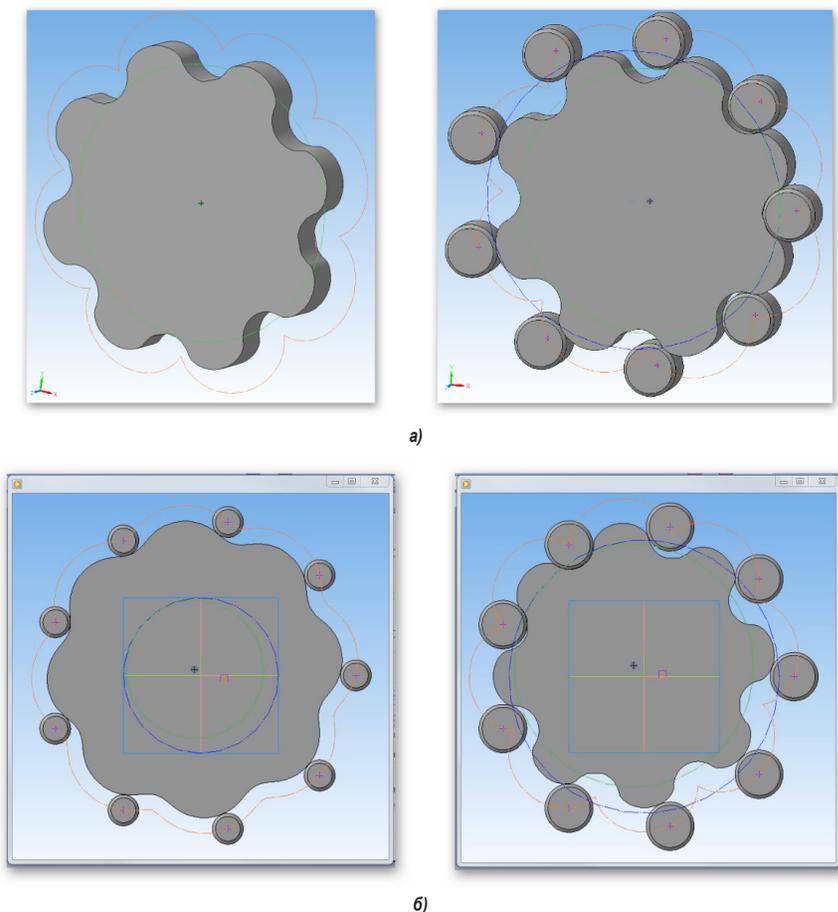


Рис. 6. 3D-модель циклоидально-цевочного зацепления (а) и стоп-кадры видеофайла, сформированные на её основе (б) (выполнено авторами).

Использование такого подхода позволяет значительно повысить гибкость и эффективность процесса проектирования. Представленные на рис. 5 эскизы рабочих профилей циклоидальных колёс и 3D-модели (рис. 6) иллюстрируют возможность быстрого переключения при изменении параметров передачи, в том числе в режиме анимации.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Приведённые результаты моделирования на конкретном примере демонстрируют, что САПР является инструментом, позволяющим напрямую преобразовать аналитические (формульные) описания геометрических объектов в реалистичные цифровые модели, пригодные для их непосредственного использования как объектов анализа ряда физических (массо-центровочные, прочностные характеристики), потребительских (внешний вид, положение «в интерьере») свойств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: Справочное пособие. В 7 томах. – Т. IV: Зубчатые механизмы. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 592 с. [Электронный ресурс]: https://vk.com/doc212739941_219722791?hash=71ebfd8e567d4457bc. Доступ 21.04.2021.
2. Щербаков Н. Р. Математическое и компьютерное моделирование динамического состояния систем передачи движения // Дис.... д.ф.-м.н. – Томск: ТГУ, 2009. – 213 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19225410>. Доступ 21.04.2021.
3. Дорош С. Пошаговое построение эпициклоиды для циклоидального цевочного редуктора. [Электронный ресурс]: <https://www.youtube.com/watch?v=JdY1v36D0Is>. Доступ 21.04.2021.
4. Бубенчиков А. М., Щербаков Н. Р., Становской В. В., Казакиявичюс С. М. Компьютерное моделирование эксцентриковой циклоидально-цевочной передачи // Материалы Международной конференции «Дифференциальные уравнения, теория функций и приложения». – 2007. – С. 562–563. [Электронный ресурс]: http://www.math.nsc.ru/conference/invconf/veku07/abstracts/mat_mod/bubenchikov2.pdf. Доступ 21.04.2021.
5. Вулгаков, Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с. ISBN 5-217-02355-4.





6. Ефременков Е. А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения / Дис... канд. техн. наук. – Томск, Томский политехнический универ., 2002. – 126 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19182838>. Доступ 21.04.2021.
7. Ан И-Кан, Беляев А. Е. Синтез планетарных передач применительно к роторным гидромашинам. – Новоуральск: НПИ МИФИ. – 2001. – 90 с. ISBN 5-332-0002-2.
8. Киреев С. О. Планетарные передачи с внецентровым внутренним цевочным зацеплением в машиностроении // Вестник ДГТУ. – 2011. – Т. 11. – № 7 (58). – С. 1051–1058. [Электронный ресурс]: <https://www.vestnik-donstu.ru/jour/article/download/824/819>. Доступ 21.04.2021.
9. Киреев С. О. Теоретические основы методов анализа и синтеза планетарных механизмов с внецентроидным цевочным зацеплением / Дис... док. техн. наук. – Новочеркасск: Южно-рус. гос. техн. универ., 2002. – 441 с. [Электронный ресурс]: <http://www.dslib.net/organizaciya-proizvodstva/teoreticheskie-osnovy-metodov-analiza-i-sinteza-planetarnyh-mehanizmov-s.html>. Доступ 21.04.2021.
10. Кобза Е. Е., Ефременков Е. А., Демидов В. Н. Анализ распределения усилий в зацеплении циклоидальной передачи с учётом погрешностей изготовления звеньев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 2. – С. 22–26. [Электронный ресурс]: http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/4357/1/bulletin_tpu-2012-321-2-05.pdf. Доступ 21.04.2021.
11. Крайнев А. Ф. Механика машин. Фундаментальный словарь. – М.: Машиностроение. – 2001. – 904 с. ISBN 5-217-0790-8.
12. Леонтьев Н. В., Мугин О. Г., Мугин О. О. Механические передачи на основе эпициклоиды и гипоциклоиды // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4 (5). – С. 2308–2310. [Электронный ресурс]: http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/19931778_2011_-_4-5_unicode/141.pdf. Доступ 21.04.2021.
13. Мугин О. Г., Мугин О. О., Синев А. В. О замечательных свойствах эпициклоиды и гипоциклоиды в применении к механическим передачам // Вестник научно-технического развития. – 2013. – № 1 (65). – С. 28–32. [Электронный ресурс]: <http://www.vntr.ru/frpgetfile.php?id=658>. Доступ 21.04.2021.
14. Сергеев В. И. Методологические основы повышения точности механизмов с высшими кинематическими парами // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2006. – № 1. – С. 3–9. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9188440>. Доступ 21.04.2021.
15. Сирицин А. И., Башкиров В. Н., Широких Э. В. Статическая крутильная жёсткость привода станка на основе циклоидально-цевочной передачи // Вестник машиностроения. – 2015. – № 1. – С. 3–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23727661>. Доступ 21.04.2021.
16. Фомин М. В. Планетарно-цевочные передачи. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – 64 с. ISBN 978-5-7038-3309-4. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29791168&>. Доступ 21.04.2021.
17. Suciu, F., Dăscălescu, A., Ungureanu, M. From design to manufacturing of asymmetric teeth gears using computer application. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 200, pp. 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/200/1/012012.
18. Fedosovskii, M. E., Aleksanin, S. A., Nikolaev, V. V., Yegorov, I. M., Dunaev, V. I., Puctozerov, R. V. The Effect of a Cycloid Reducer Geometry on its Loading Capacity. World Applied Sciences Journal, 2013, Vol. 24, No. 7, pp. 895–899. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.07.13352. [Электронный ресурс]: [https://www.idosi.org/wasj/wasj24\(7\)13/11.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj24(7)13/11.pdf). Доступ 21.04.2021.
19. Sun, Y., Guan, T. The Modeling and Simulation Method to Calculate Force in the Equivalent Substitution Flank Profile Two Tooth Difference Cycloid Pin Gear Reducer Cycloid Gear. 2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation, 2010, pp. 729–733. DOI: 10.1109/ICDMA.2010.192.
20. Hidaka, T., Wang H., Ishida, T., Matsumoto, K., Hashimoto, M. Rotational transmission error of K-H-V planetary gears with cycloid gear. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C, 1994, Vol. 60, No. 570, pp. 645–653. DOI: <https://doi.org/10.1299/kikaic.60.645>.
21. Lai, Ta-Shi. Design and machining of the epicycloid planetary gear of cycloid drives. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, No. 28, pp. 665–670. DOI: 10.1007/s00170-004-2423-x.
22. Li, Chongning; Liu, Jiyang; Sun, Tao. Study on transmission precision of cycloidal pin gear in 2K-V planetary drives. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, Vol. 37, No. 4, pp. 61–65. [Электронный ресурс]: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JXXB200104013.htm. Доступ 21.04.2021.
23. Litvin, F., Fuentes, A. Gear Geometry and Applied Theory. 2nd ed. Cambridge University Press, 2004, 800 p. DOI: 10.1017/CBO9780511547126.
24. Shirokoshi, Norio; Hidaka, Teruaki; Kasei, Shinji. Studies of Influences of Geometrical Errors to Final Performances in Small Backlash Planetary Gears: Relations Among Position Deviations of Planet Gears, Target of Backlash and Non-Working Flank Load. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C, 2000, Vol. 66, No. 646, pp. 1950–1958. DOI: 10.1299/kikaic.66.1952.
25. Sun, Y. G., Zhao, X. F., Jiang, F., Zhao, L., Liu, D., Lu, G. B., Yu, G. Backlash analysis of RV reducer based on Error Factor Sensitivity and Monte-Carlo Simulation. International Journal of Hybrid Information Technology, 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 283–292. DOI: 10.14257/ijhit.2014.7.2.25.
26. Terada, Hidetsugu. The Development of gearless reducers with rolling balls. Journal of Mechanical Science and Technology, 2010, No. 24, pp. 189–195. DOI: 10.1007/s12206-009-1155-0.
27. Yang, D. C. H., Blanche, J. G. Design and application guidelines for cycloid drives with machining tolerances. Mechanism and Machine Theory, 1990, Vol. 25, No. 5, pp. 487–501. DOI: 10.1016/0094-114X(90)90064-Q. ●

Информация об авторах:

Стекольников Максим Владимирович – кандидат технических наук, доцент Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (СГТУ имени Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия, stekolnikov2008@mail.ru.

Милованова Людмила Руслановна – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, sarmilovanova@mail.ru.

Чельшьева Ирина Александровна – кандидат технических наук, доцент Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина (СГТУ имени Ю. А. Гагарина), Саратов, Россия, etingig@mail.ru.

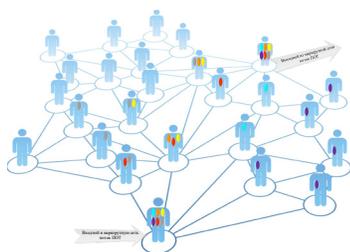
Статья поступила в редакцию 05.05.2021, одобрена после рецензирования 26.08.2021, принята к публикации 10.09.2021.

TV



МЕЖДУНАРОДНЫЕ АВТОПЕРЕВОЗКИ 48

Чтобы успешно конкурировать, нужно обновлять автопарк. Как решить комплекс взаимосвязанных вопросов экологии, топливной эффективности, финансирования? Анализ и рекомендации.



ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ 62

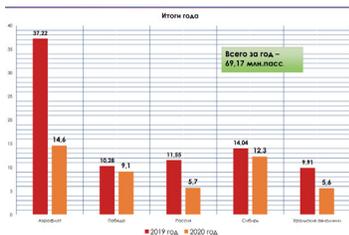
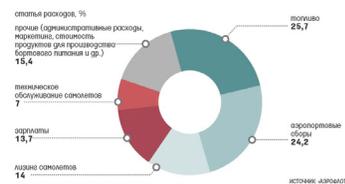
Комбинированными бывают не только грузоперевозки, но и пассажирские маршруты в крупных городах. Анализ мультимодальности с использованием цифрового и поведенческого инструментария.

ЭКОНОМИКА



АВИАБИЗНЕС 74

Часто летающие пассажиры. Что получают пассажиры, знают практически все, а во что обходятся их бонусы авиакомпании?





Методические основы расширенного воспроизводства автотранспортных средств



Ольга МАТАНЦЕВА



Иван КАЗАНЦЕВ



Михаил НИЗОВ



Иосиф СПИРИН

Ольга Юрьевна Матанцева¹, Иван Сергеевич Казанцев², Михаил Анатольевич Низов³, Иосиф Васильевич Спирин⁴

^{1, 2, 3, 4} ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», Москва, Россия.

✉ ⁴ ivspirin@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время российские перевозчики грузов в международном автомобильном сообщении не обладают достаточным потенциалом для успешной конкуренции с их иностранными партнёрами. Основными причинами такого положения являются значительная изношенность парка автомобилей и несоответствие его современным экологическим требованиям, недостаток собственных средств для своевременной реновации и развития автотранспортного парка, а также системное отставание в развитии технологий перевозок и их логистического сопровождения.

Цель статьи – обосновать рациональные меры для решения проблемы расширенного воспроизводства автомобильного подвижного состава, используемого при перевозках грузов в международном сообщении. Методология, использованная при подготовке статьи, основана на использовании общенаучных методов в сочетании со специальными методами, включавшими анализ статистических данных о перевозках грузов в международном автомобильном сообщении, сравнительный анализ состояния парка автомобилей российских перевозчиков с учётом основных условий и эксплуатационных характеристик, классификацию парка грузовых автомобилей на основе типизации их эксплуатационных характеристик с последующим подразделением этого парка

на три основные группы, обзорный анализ и бенчмаркинг зарубежного опыта эксплуатации и перспективного развития парка подвижного состава, анализ экономических и правовых возможностей привлечения средств для воспроизводства парка подвижного состава.

В статье рассмотрены и изучены: а) актуальность решения проблемы расширенного воспроизводства парка автотранспортных средств, используемых российскими перевозчиками в международном сообщении; б) зарубежный опыт и тенденции развития парка подвижного состава, используемого для международных перевозок грузов; в) основные направления обеспечения экономических возможностей перехода к расширенному воспроизводству транспортных средств; г) анализ правовых возможностей государственной поддержки расширенного воспроизводства автотранспортного парка российских перевозчиков в международном грузовом сообщении, в том числе за счёт применения государственно-частного партнёрства.

На основе результатов исследования разработаны предложения, направленные на обеспечение расширенного воспроизводства парка транспортных средств и повышение эффективности работы перевозчиков в международном автомобильном сообщении.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, перевозки в международном сообщении, изношенность подвижного состава, воспроизводство производственных фондов, государственная поддержка.

Для цитирования: Матанцева О. Ю., Казанцев И. С., Низов М. А., Спирин И. В. Методические основы расширенного воспроизводства автотранспортных средств // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-6>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Перевозки грузов автомобильным транспортом в международном сообщении как в Европейском Союзе, так и в России являются видом производственно-хозяйственной деятельности, востребованным грузовладельцами. Автомобильный транспорт, по сравнению с его основными конкурентами – железнодорожным транспортом и гражданской авиацией, характеризуется сочетанием умеренных тарифов при достаточно высокой оперативности перевозок (рис. 1).

Такое сочетание важнейших потребительских характеристик автомобильного транспорта обеспечивает устойчивый тренд развития перевозок в международном сообщении (рис. 2)¹.

Сравнение условий перевозок грузов российскими и иностранными перевозчиками в международном сообщении показывает, что российские перевозчики не могут в полной мере конкурировать со своими иностранными коллегами. Основными причинами такого положения являются: значительная изношенность парка эксплуатируемых автотранспортных средств; продолжение эксплуатации автомобилей низких экологических классов; отсутствие у перевозчиков собственных средств для своевременного обновления парка подвижного состава; системное отставание в развитии автотранспортных технологий и логистического сопровождения перевозок.

¹ Здесь и далее рисунки и таблицы построены авторами на основании статистической информации Росстата и Аналитического агентства «Автостат».

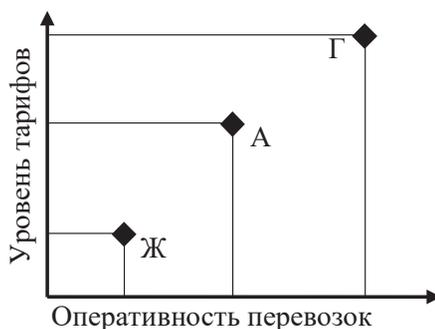


Рис. 1. Сопоставление тарифной доступности и оперативности перевозок автомобильным транспортом (А), железнодорожным транспортом (Ж), и гражданской авиацией (Г).

Значительной проблемой для повышения эффективности перевозок грузов является обеспечение загрузки подвижного состава в обратном направлении. В настоящее время объемы импортных и экспортных перевозок грузов автомобильным транспортом практически сравнялись (рис. 3). Это способствует ускорению окупаемости инвестиций. Поэтому рассмотрение вопросов рационализации экономического механизма реновации изношенного подвижного состава и его расширенного воспроизводства является актуальным.

Цель настоящей статьи – изучить проблемы, связанные с изношенностью парка автотранспортных средств, используемых для перевозок грузов в международном сообщении, и своевременным обновлением этого парка, предложить рациональное решение по своевременной расширенной реновации подвижного состава российских перевозчиков.

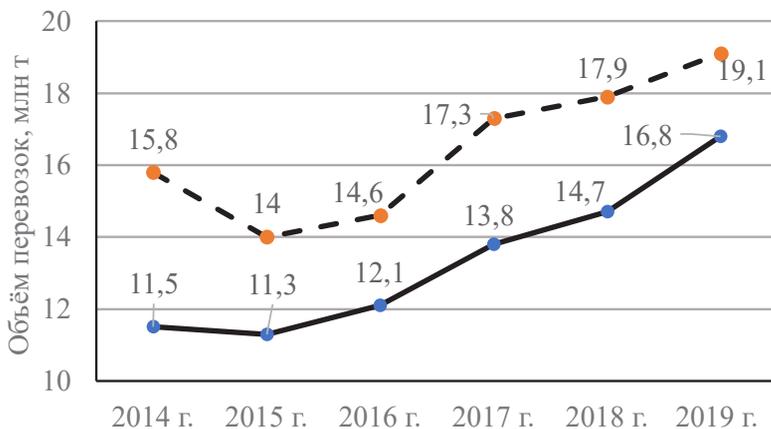


Рис. 2. Объем перевозок грузов в международном автомобильном сообщении российскими перевозчиками (сплошная линия) и иностранными перевозчиками на территории России (пунктирная линия).



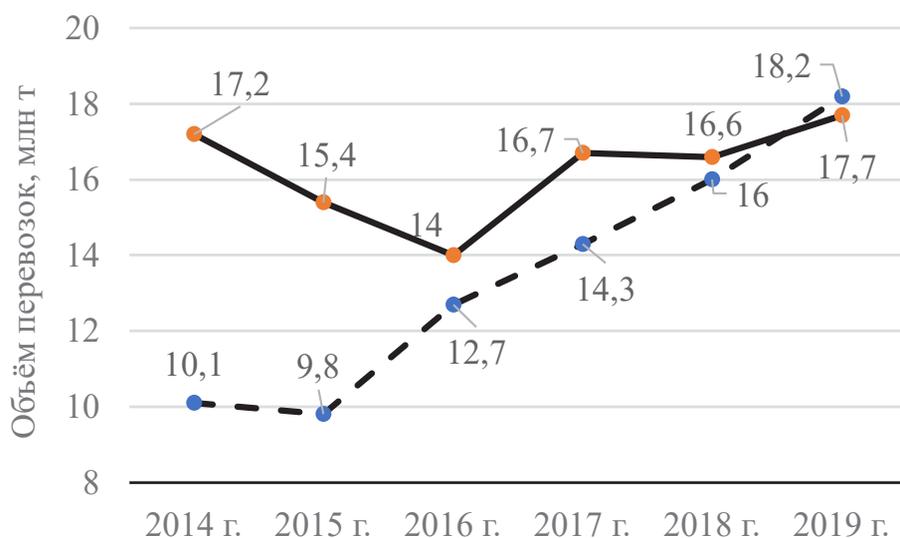


Рис. 3. Динамика объема перевозок грузов в международном автомобильном сообщении: сплошная линия – импорт; пунктирная линия – экспорт.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При подготовке статьи использованы: информация по итогам статистического наблюдения за составом парка автомобильного подвижного состава, эксплуатируемого для перевозок грузов в международном сообщении, материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и аналитического агентства «Автостат», результаты научных исследований и разработок, выполненных при участии авторов в ОАО «НИИАТ» (авторское ноу-хау), публикации в научной печати, нормативно-правовые акты действующего законодательства.

Методология, использованная авторами при подготовке статьи, включает в свой состав как общенаучные методы исследований и проектных разработок, так и следующие специальные и прикладные методы исследований:

- статистический анализ данных о перевозках грузов в международном автомобильном сообщении, наличии парка грузовых автомобилей, условиях и характеристиках их эксплуатации, состоянии физической изношенности этого парка;
- анализ соответствия парка автомобилей российских перевозчиков действующим и перспективным экологическим требованиям с учётом основных условий и эксплуатационных характеристик и актуальных проблем своевременной реновации этого парка;

- классификацию парка грузовых автомобилей на основе установленных гетерогенных условий и эксплуатационных характеристик с последующим разделением этого парка на три основные группы (то есть, использован метод общей классификации объектов и их декомпозиции);

- обзорное изучение зарубежного опыта эксплуатации грузовых автомобилей, используемых для перевозок в международном сообщении, и перспективного развития парка подвижного состава с целью бенчмаркинга результатов этого анализа;

- анализ экономических и правовых возможностей привлечения дополнительных средств для воспроизводства парка подвижного состава с целью компенсации последствий сложившейся негативной тенденции старения этого парка и его несоответствия современным и перспективным экологическим требованиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Состояние парка автомобильного подвижного состава, используемого для перевозок грузов в международном сообщении

Автомобильный парк российских перевозчиков, используемый для перевозок грузов в международном сообщении, имеет повышенный физический износ, что объясняется значительным сроком эксплуатации автомобилей (табл. 1). Для наглядности восприятия

Таблица 1

Структура парка автомобилей российских перевозчиков, используемых для перевозок грузов в международном сообщении, по сроку эксплуатации, %

Срок эксплуатации, лет	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
До 2	27,4	26,9	24,5	24,7	29,8	21,9
Более 2 до 5	18,3	16,7	16,1	14,9	17,8	16,3
Более 5 до 8	19,1	20,4	20,4	21,3	19,4	17,2
Более 8 до 10	12,7	14,7	16,1	17,4	11,7	11,6
Более 10 до 13	11,4	10,1	9,4	8,1	8,9	16,0
Свыше 13	11,1	11,2	13,5	13,6	12,4	17,0

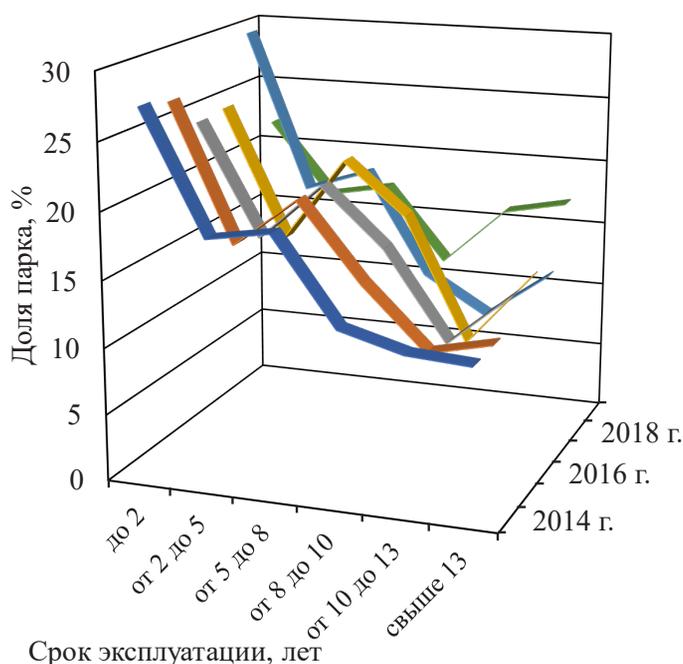


Рис. 4. Графическое представление динамики парка российских перевозчиков грузов в международном сообщении за 2014–2019 годы.

Таблица 2

Распределение по экологическим классам автомобилей российских перевозчиков, осуществляющих перевозки грузов в международном сообщении, %

Экологический класс	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год
ЕВРО-0	6,9	6,8	7,3	7,0	6,9	7,1
ЕВРО-1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3
ЕВРО-2	5,5	4,8	3,8	3,8	3,3	3,0
ЕВРО-3	37,0	33,7	31,2	26,2	23,0	19,7
ЕВРО-4	8,3	8,0	7,4	7,0	6,6	6,0
ЕВРО-5	41,4	46,0	49,7	55,5	59,7	63,8
ЕВРО-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1

информации о динамике структуры парка автомобилей по сроку службы за последние несколько лет по данным табл. 1 построена диаграмма (рис. 4), на которой видно, что увеличивается доля подвижного состава со

значительным сроком эксплуатации. Такая тенденция усугубляет непрочное положение российских перевозчиков грузов в международном сообщении. Доля новых автомобилей в составе этого парка имеет тенденцию к не-





Таблица 3

Характеристики типичных групп автотранспортных перевозчиков, существенные для обновления парка подвижного состава

Характеристика	Группа 1	Группа 2	Группа 3
Марочный состав парка автомобилей	Автомобили, произведённые в государствах СНГ	Автомобили, произведённые в государствах СНГ, и некоторая доля автомобилей, произведенных в других странах	Автомобили, произведённые в государствах СНГ, и другие автомобили преимущественно марок VOLVO, MAN, SCANIA
Средний срок эксплуатации автомобилей, лет	15–20	13–17	7–12
Экологический класс автомобилей	0, 1 и 2	0, 1, 2, 3	4 и более высокий
Грузоподъёмность автомобилей	Малая и средняя	От малой до большой	От средней до особо большой
Техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт	Как правило, выполняются силами водителей	Собственный персонал – ТО и простой ремонт; ремонт крупноузловой и агрегатный – в специализированных мастерских	Выполняются в специализированных мастерских
Сфера использования подвижного состава	Перевозки внутри субъектов РФ	Перевозки внутри субъектов и между субъектами РФ	Перевозки между субъектами РФ и в международном сообщении
Условия капитализации бизнеса	Минимальный уставной капитал, отсутствие резервов капитала, кассовые «разрывы», нулевой или убыточный баланс	Минимальный уставной капитал, отсутствие резервов капитала, часто нулевой или убыточный баланс	Минимальный уставной капитал и минимальные резервы капитала. Баланс с незначительным положительным сальдо
Проблемы в сфере трудовых отношений	Задержки заработной платы, оплата труда по «серой» схеме. Систематические нарушения трудового законодательства	Часто оплата труда по «серой» схеме. Эпизодические нарушения трудового законодательства	Общие (фоновые) для всех отраслей российской экономики. Нарушения трудового законодательства относительно редкие
Амортизационная практика и возможности реновации основных средств	Амортизация не начисляется в связи с полной изношенностью подвижного состава и другого оборудования. Невозможность реновации за счёт собственных ресурсов	Ограниченные суммы амортизации в связи с высокой изношенностью подвижного состава. Очень мало собственных ресурсов для реновации основных средств	Амортизация начисляется на автомобили, не выработавшие свой ресурс. Недостаток собственных ресурсов для реновации основных средств
Возможности привлечения внешних источников средств для воспроизводства подвижного состава	Лизинг возможен редко и только на очень невыгодных условиях. Кредитование исключено в связи с практически нулевой оценочной стоимостью активов	Ограниченная возможность лизинга на невыгодных условиях (большой первоначальный взнос, короткие сроки лизинга, высокие ставки платежей). Возможности кредитования очень ограничены из-за низкой оценочной стоимости активов	Как правило, имеются. Используются лизинг и кредиты
Стабильность договоров с клиентурой	Преимущественно, договоры перевозки	Договоры перевозки и договоры организации перевозок со сроком до одного года	Договоры на организацию перевозок сроком до трёх лет и разовые договоры перевозки
Текущее состояние перевозчиков на рынке автомобильных перевозок	Выбывают с рынка: около 50 % организаций прекратили существование за последние 10 лет	Выбывают с рынка или близки к критическому (неустойчивому) состоянию	Есть ограниченные перспективы для сохранения своих позиций на рынке
Возможность простого воспроизводства подвижного состава	Отсутствует	Имеется только частично, преимущественно за счёт использования заемных средств	Имеется за счёт использования собственного и заемного капитала
Возможность расширенного воспроизводства подвижного состава	Отсутствует	Отсутствует	Сильно ограничена
Прогноз жизнеспособности транспортных организаций	Отрицательный	Скорее отрицательный, но с некоторой долей уверенности	Удовлетворительный

которому сокращению. Такая ситуация объясняется отсутствием у перевозчиков достаточных финансовых ресурсов для реновации изношенной части парка транспортных средств, а также для расширенного воспроизводства в целях дальнейшего развития бизнеса.

Следствием сверхнормативной продолжительности эксплуатации автомобилей российских перевозчиков грузов в международном автомобильном сообщении по срокам полезного использования стала проблема несоответствия значительной доли парка автомобилей действующим и перспективным экологическим требованиям и стандартам (табл. 2).

Значительный физический износ транспортных средств российских перевозчиков вызывает повышение расходов на проведение текущих ремонтов подвижного состава. Вызванное этим увеличение себестоимости перевозок вынуждает перевозчиков повышать тарифы, что также снижает конкурентоспособность хозяйствующих на рынке перевозок субъектов экономической деятельности.

Изучение информации о состоянии рынка перевозок грузов в международном сообщении и положении на нём российских перевозчиков позволило нам установить распределение транспортных организаций, эксплуатирующих от 20 до 40 автомобилей, по характерным трём группам (табл. 3). Исследовался комплекс вопросов, существенных для успешности работы перевозчиков на транспортном рынке. Группировка перевозчиков проводилась на основе критерия максимального подбора эксплуатационных условий и экономического положения их на рынке услуг по перевозкам грузов в международном автомобильном сообщении.

Из представленных в табл. 3 сведений следует, что общее положение в рассматриваемом секторе рынка перевозок нельзя признать удовлетворительным. Главной причиной такого положения является отсутствие у перевозчиков возможностей приобретения нового подвижного состава, соответствующего современным и перспективным экологическим требованиям.

Основные направления реструктуризации парка грузовых автомобилей в Европе

В отличие от России, в Европе основной проблемой обновления парка автомобилей,

в том числе и большой грузоподъёмности, является не наличие у перевозчиков финансовых возможностей, а необходимость замены эксплуатируемых автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на подвижной состав, оборудованный экологичными двигателями при одновременном повышении топливной экономичности и провозной возможности транспортных средств. Дело в том, что в странах Европы, в сообщении с которыми российские перевозчики обеспечивают важнейшие для экономики России транспортные связи, действует очень жёсткое природоохранное законодательство, а гражданское общество этих стран занимает активную позицию в вопросах экологической безопасности и защиты окружающей среды. В этой связи, значительный объём перевозок грузов в сообщении с этими странами достаётся иностранным партнёрам российских перевозчиков, обладающим более современными транспортными средствами высоких экологических классов [1].

При образовании ЕС сохранение среды обитания являлось одной из приоритетных целей государств-участников Союза. Начиная с 1992 года по настоящее время приняты шесть документов, регламентирующих экологически неблагоприятные транспортные выбросы. Предельные нормы выбросов установлены по перечню вредных веществ: оксиду углерода, углеводородам, окиси азота и др. Основной тенденцией является поэтапное ужесточение норм выбросов.

Стимулирование перевозчиков к эксплуатации автомобилей с прогрессивными силовыми установками осуществляется различными мерами, в том числе подразделением территорий населённых пунктов на зоны с допуском в них только транспортных средств определённых экологических классов. Практика зонирования допуска автомобилей на определённые территории в зависимости от экологичности двигателей признана в Европе эффективной мерой сохранения окружающей среды. В Европе принят курс на отказ от использования дизелей. Эксплуатировать неэкологичные автомобили становится не просто невыгодным, а просто невозможным. В этой связи, парк автотранспортных средств интенсивно обновляется [2; 3].

Повышенный общественный интерес в европейских странах к проблемам экологически чистого транспорта проявляется в ин-



тенсивной дискуссии парламентариев и широких кругов общественности, постоянно находит отклик в средствах массовой информации. Приведём несколько примеров этого.

В Нидерландах используется территориально-экологическое зонирование доступа транспортных средств и установлен запрет на въезд в ряд таких зон грузовых автомобилей с двигателями стандарта Евро-4 и ниже, а с 2022 года полностью будет запрещён и въезд для автомобилей с двигателями стандарта Евро-5. С 2025 года планируется установить полный запрет на въезд в города любым грузовым автомобилям с двигателями, работающими на органическом топливе. Допускаться в такие зоны будут только автомобили, работающие на водородном топливе и электромобили. В Германии установлен запрет на въезд в центральные части крупнейших городов (Берлин, Гамбург, Штутгарт, Аахен, Франкфурт-на-Майне) автомобилей с дизелями экологических классов ниже Евро-6. Считается, что это вынудит автопроизводителей выпускать больше автомобилей с гибридными двигателями². Серьёзные ограничения для автомобилей низких экологических классов существуют и в Испании. В Мадриде центр города практически полностью закрыт для въезда на его территорию неэкологичных транспортных средств. Власти Парижа запретили въезд в центр города дизельных автомобилей, а въезд автомобилей с бензиновыми двигателями серьёзно ограничен. К 2030 году планируется установить допуск на территорию столицы Франции только автомобилей, работающих на водородном топливе и электромобилей.

Великобритания также ввела ограничения для эксплуатации неэкологичных автомобилей. В Лондоне действуют ограничения на въезд в центр города автомобилей с двигателями ниже стандарта Евро-4³.

Евросоюз и входящие в него страны стараются стимулировать компании, занимающиеся производством эко-автомобилей. Таким производителям дают кредиты на льгот-

² Это конец грузовиков стандарта Евро-5? Европа объявляет войну неэкологическим грузовикам. [Электронный ресурс]: <https://trans.info/ru/eto-konets-gruzovikov-standarta-evro-5-evropa-obyavlyayet-voynuneekologicheskim-gruzovikam-133630>. Доступ 26.08.2021.

³ Предлагает 3 тыс. евро в месяц, ищет 60 водителей. Но желающих нет... [Электронный ресурс]: <https://trans.info/ru/predlagaet-3-tys-evro-v-mesyats-ishhet-60-voditeley-nozhelayushhih-net-252015>. Доступ 26.08.2021.

ных условиях и устанавливают налоговые каникулы. В Европейском Союзе транспортные средства большой грузоподъёмности составляют только 4 % всего автомобильного парка. Но на эти автомобили приходится около 30 % выбросов CO₂ и других вредных веществ в атмосферу⁴. Поэтому стратегическое планирование развития автомобильного транспорта направлено на задействование рыночных механизмов, способствующих обновлению парка подвижного состава. Проблемой считается то, что информация о расходе топлива большегрузными автомобилями в настоящее время не учитывается. Поэтому совершенствуется мониторинг эксплуатации большегрузных автомобилей, система сертификации, статистического учёта и отчётности. Создаётся информационная база по продажам большегрузных автомобилей, эксплуатационным условиям, расходу топлива и грузопотокам. Установлена тенденция повышения средней грузоподъёмности эксплуатируемых большегрузных автомобилей. Ведущими производителями автомобилей большой грузоподъёмности по числу продаж новых транспортных средств являются Volkswagen, Volvo, Daimler, PACCAR и Iveco [4; 5].

В Европе развёрнуто выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью замены в обозримой перспективе дизелей и двигателей, работающих на бензине, на альтернативные силовые установки. Разработки направлены на повышение энергетической экономичности перевозок грузов и повышения провозной возможности транспортных средств [6]. Так, исследование потребления топлива автомобилями с дизелями и различными гибридными двигателями в реальных эксплуатационных условиях на примере Финляндии показало, что энергетическая эффективность использования большегрузных транспортных средств может быть повышена на 6 % при переходе на гибридные двигатели. Удельный расход топлива на 1 т•км снижается в среднем на 17 % при увеличении общей массы транспортного средства с грузом с 40 т до 60 т. Особенно эффективной гибридикация двигательной установки стано-

⁴ Страны ЕС окончательно согласовали ужесточение экологических норм для автомобилей. [Электронный ресурс]: <https://www.dw.com/ru/strany-es-okonchательно-согласовали-ужесточение-экологических-норм-для-автомобилей/a-48329696>. Доступ 26.08.2021.



Рис. 5. Система электроснабжения для тяжёлых коммерческих транспортных средств на тестовой линии в окрестностях Берлина (фото «Сименс»: <https://press.assets.siemens.com/content/siemens/press/ui/en/search.html#/asset/sid:320d002d-fa74-4a64-882c-715abfa3b6e5>).

вится при движении по пересеченной местности [7]. Поскольку эффективность использования транспортных средств определяется, прежде всего, расходом топлива, разработаны модели расхода дизельного топлива большегрузными автомобилями с учётом различных эксплуатационных факторов [8].

В статье [9] представлен обзор перспективных проектов создания нового поколения грузовых автомобилей, обеспечивающего значительное снижение энергопотребления на перевозки грузов и провозной возможности парка автомобилей. Основой разработки таких проектов является использование методологии платонизации. Ведутся разработки не только новых экологических двигателей, но и систем управления автомобилями с использованием информационных технологий, автоматизированного вождения автомобилей, созданием системы взаимного информационного обмена между различными транспортными средствами для координированного их движения, обеспечивающего минимальную дистанцию безопасности для повышения пропускной способности путей сообщения.

Перспективным направлением кардинального решения вопроса повышения экологичности большегрузных транспортных средств признана электрификация подвижного состава. В этой связи следует указать на то, что КПД электрического двигателя в два раза, и даже более, превышает этот показатель у двигателей внутреннего сгорания. Таким образом, экологический эффект достигается не только за счёт перевода автотранспортных средств на электротягу, но и ввиду резкого сокращения потребления энергии на тягу.

В настоящее время основным недостатком электромобилей является значительная масса бортовых энергоносителей по сравнению с применением углеводородного топлива. Это повышает коэффициент тары автомобиля – он перемещает не только полезную нагрузку, но и тяжёлый бортовой энергоноситель. Выходом из этого положения является использование внешнего источника электроэнергии. Это может быть достигнуто оборудованием магистральных путей сообщения троллеями. Заметим, что в России имеется положительный опыт эксплуатации дуобусов (троллейбус, оборудованный вспомогательным двига-



телем внутреннего сгорания для передвижения по части маршрута, не оборудованной троллейями), ранее использовавшихся для доставки товаров с торговых баз в ГУМ.

Ведущие автопроизводители стран Евросоюза проводят опытно-конструкторские работы по созданию магистральных грузовых троллейбусов. Швеция стала первой страной, в которой эксплуатируется троллейбусная линия для магистральных перевозок грузов. Распространению подобного подвижного состава будет способствовать наличие в Европе развитой сети отличных автомобильных дорог. Компания «Сименс» в ФРГ с 2012 года проводит тестовую эксплуатацию таких транспортных средств на двух экспериментальных участках (eHighway, рис. 5).

Последовательное и комплексное ужесточение экологических требований стимулирует европейских перевозчиков к приобретению «зелёных» транспортных средств при обновлении эксплуатируемого парка автомобильного подвижного состава. При этом важным обстоятельством является значительное повышение цены таких транспортных средств по сравнению с автомобилями низких экологических классов.

Известные способы воспроизводства подвижного состава

Многие люди заблуждаются, поскольку верят в существование некой «кубышки», в которой якобы накапливаются амортизационные начисления. В статье [10] показано, что этот распространённый миф не имеет ничего общего с экономической практикой. В настоящее время амортизационные фонды обязательным бухгалтерским учётом не предусмотрены. Амортизационные начисления, включаемые в себестоимость транспортных услуг, не хранятся без движения, а сразу после поступления в составе выручки используются для выполнения текущих платежей организации (образно говоря – «тают»). На транспорте возникли серьёзные амортизационные «ножницы», так как вследствие полной изношенности значительной части основных средств, амортизация по ним не начисляется вовсе. Цены на транспортные средства растут значительно быстрее, по сравнению с объёмами сумм амортизационных отчислений, производимых исходя из цен, действовавших в прошлые периоды времени. Чисто теоретически приобретение новых транспортных средств

за счёт амортизации возможно только при парке неизношенного подвижного состава более 15–20 ед., поскольку ежегодно на такой парк производятся амортизационные начисления, которых хватит для приобретения одного автомобиля. В этой связи в настоящее время приобретение достаточного количества нового подвижного состава для реновации за собственные средства транспортных организаций невозможно. Тем более, невозможно расширенное воспроизводство за счёт упомянутых средств.

При отсутствии собственных средств для реновации и расширенного воспроизводства подвижного состава возможно использование средств сторонних организаций. Такие средства могут предоставляться перевозчикам на условиях договоров кредита или лизинга.

В научной литературе нет общепризнанного экономическим сообществом решения проблемы эффективного возобновления основных фондов хозяйствующих субъектов за счёт привлекаемых со стороны средств. Соответствующие теоретические аспекты воспроизводства подвижного состава транспорта в последние годы разрабатывались в основном в рамках проведения диссертационных исследований. В работе [11] рассмотрены механизмы организации воспроизводства основного капитала в вертикально интегрированных хозяйственных комплексах. На автомобильном транспорте такие связи хозяйствующих субъектов не распространены, в связи с чем в этой работе основной интерес для нашего исследования представляют организационно-управленческие и административные модели. Т. С. Бабаевым изучено формирование инвестиционной политики транспортной компании на основе программно-целевого управления [12]. Уделено внимание рассмотрению проблем использования заёмных средств, направляемых на обновление вагонного железнодорожного парка в зависимости от спроса на перевозки. Д. Ю. Каштановым [13] разработаны рекомендации по созданию механизма привлечения инвестиций в сферу пассажирского автомобильного транспорта. В качестве основных механизмов привлечения инвестиций для обновления парка рекомендованы финансовый лизинг и банковское кредитование. В работе А. Е. Филина [14] изучены возможности использования финансовой аренды (лизинга) для обновления подвижного со-

става. Сделаны рекомендации по использованию лизинговых операций с учётом специфики железнодорожного транспорта. В диссертации И. В. Титова [15] исследованы экономические механизмы формирования потребности в средствах для обновления парка автобусов и формирования соответствующих инвестиций на основе образования фонда амортизационных отчислений.

Лизинг в настоящее время привлекателен для хозяйствующих субъектов вследствие минимизации платежей по налогу на добавленную стоимость. Однако лизинг имеет ограничения в использовании автомобильными перевозчиками по следующим причинам:

- сложность в одобрении лизинговой сделки и достаточно высокая стоимость финансовых ресурсов, используемых для первичных платежей;
- отсутствие у перевозчика права распоряжаться предметом лизинга, поскольку собственником подвижного состава является лизингодатель;
- наличие дополнительных расходов, связанных с заключением договора лизинга (разовые комиссионные платежи за сделку и ежемесячные за весь срок действия договора).

Автомобильные перевозчики, работающие в международном сообщении, не в состоянии широко использовать лизинг и банковское кредитование в связи с повышенными ставками на предоставление заёмных средств вследствие низкой оценки собственных активов перевозчиков, нестабильностью работы транспортных организаций в условиях сезонных колебаний спроса на их услуги, острой конкуренции на рынке перевозок в международном сообщении.

По данным, полученным в ОАО «НИИ-АТ», ежегодное обновление парка грузовых автомобилей (с учётом сложившейся их сверхнормативной изношенности) должно составлять около 12 %. Фактически в настоящее время ежегодное обновление парка в среднем не превышает 5 % [16].

К основным проблемам привлечения инвестиционных ресурсов для перевозчиков автомобильным транспортом относятся [17]:

- высокий уровень кредиторской задолженности перевозчиков;
- неудовлетворительная финансовая дисциплина перевозчиков, объясняющаяся фи-

нансовым голодом, что приводит к повышению ставок кредитных заимствований;

- низкий уровень рентабельности автомобильных перевозчиков вплоть до нулевого уровня;
- факторы внешнеэкономической конъюнктуры и проблема с пандемией коронавируса COVID-19 существенно сократили объёмы иностранных инвестиций.

Правовые возможности государственной поддержки российских перевозчиков

Перевозки пассажиров и грузов автомобильным транспортом как вид экономической деятельности относятся к услугам (глава 40 «Перевозка» Гражданского кодекса Российской Федерации (ГК РФ), Федеральный закон «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» № 259-ФЗ от 08.11.2011 г.,⁵ международные договоры о перевозках в международном сообщении с участием России). Экономическая деятельность перевозчика на рынке транспортных услуг относится к предпринимательской деятельности.

Законодательство ограничило прямое участие государства в экономической деятельности в качестве хозяйствующего субъекта, поскольку органы государственной власти и управления не являются такими субъектами, а осуществляют функции публично-правового управления. Это правило вытекает из одного из основополагающих постулатов рыночной экономики, согласно которому государство является неэффективным хозяйствующим субъектом. Государственные органы и органы местного самоуправления не в праве участвовать от своего имени в хозяйственных обществах⁶, которыми признаются корпоративные коммерческие организации с разделённым на доли учредителей (участников) уставным капиталом.

Государственное предпринимательство целесообразно осуществлять исключительно в сферах, где получаемый полезный результат не имеет чисто экономического значения, а направлен на решение иных задач (социальных, экологических, оборонных и проч.), в том числе в инфраструктурных проектах

⁵ Здесь и далее рассматриваются нормативные правовые акты с учётом изменений, последовавших после введения в действие.

⁶ Статья 66, ч. 6 ГК РФ.



[21], а также в сфере естественных монополий. В этой связи, прямое участие государства в деятельности, осуществляемой предпринимателями, допускается только в качестве участника договорных отношений в статусе приобретателя по гражданско-правовому договору. Именно в этом смысле государственные органы власти и управления, согласно ст. 124 ГК РФ, выступают в отношениях, регулируемых гражданским законодательством, на равных началах с иными участниками таких отношений, являющимися хозяйствующими субъектами. Вместе с тем, государство может принимать участие в экономической деятельности в иных формах (не как предприниматель) [18]. Применительно к теме настоящей статьи участие государства в экономической деятельности может осуществляться в виде:

- нормативно-правового регулирования комплекса экономических отношений. Основными актами законодательства в этой сфере отношений являются ГК РФ и принятые в соответствии с ним федеральные законы и подзаконные акты, нормативно-правовые акты налогового, трудового, финансового, природоресурсного и другого законодательства, а также федеральные законы, регулирующие определённые экономические отношения. Подчеркнём, что в данном случае государство не осуществляет предпринимательскую деятельность как таковую, а устанавливает её правила;

- финансирования выполнения мероприятий, осуществляемых при реализации государственных программ развития народного хозяйства в соответствии с Федеральным законом «О стратегическом планировании Российской Федерации» № 172-ФЗ от 28.06.2014 г. и соответствующими стратегиями и программами развития Российской Федерации, её регионов и муниципальных образований (только в рамках предусмотренного в этих документах размера государственного целевого финансирования);

- создания с использованием государственной собственности юридических лиц – государственных коммерческих организаций, и участия в управлении приватизированным государственным имуществом. В этой связи уместно напомнить, что юридическое лицо всегда является независимым субъектом экономической деятельности, а государству может принадлежать только

право на управление его имуществом, но не право на само юридическое лицо. Созданные государством юридические лица не отвечают по обязательствам учредивших их властно-публичных образований (ст. 126, п. 2 ГК РФ). Соответственно, государство не отвечает по обязательствам созданных им юридических лиц, кроме случаев, предусмотренных законом (ст. 126, п. 3 ГК РФ). Однако, это правило не действует, если государство приняло на себя гарантию (поручительство) по обязательствам юридического лица;

- реализации проектов, не представляющих коммерческого интереса для частных инвесторов (запрет частным инвесторам на осуществление определённой деятельности, а также экономически убыточные и малорентабельные проекты с очень высокой степенью риска, делающей нецелесообразным вложение частного капитала, но являющиеся необходимыми для решения задач, выполнение которых является обязательной функцией государства). Такое участие должно быть легитимировано нормативными правовыми актами. Оно, в частности, может осуществляться в форме государственно-частного партнёрства [19].

Анализ существа возможного участия государства в экономической деятельности и достижения целей организации государственной поддержки субъектов, осуществляющих перевозки пассажиров и грузов в международном автомобильном сообщении, позволяет нам указать наиболее целесообразные формы такого взаимодействия государства и бизнеса:

- включение мер государственной поддержки в различные программы и стратегии развития транспорта с указанием финансирования из бюджетных источников и внебюджетных фондов. При этом должны быть определены принципы, цели и задачи такой поддержки, индикаторы для оценки достигнутых результатов;

- создание ПАО с участием государственного капитала [20]. Особенности правового положения акционерных обществ, доли в уставных капиталах которых находятся в собственности государства и не закреплены за государственными или муниципальными унитарными предприятиями, определены ГК РФ. С учётом обеспечения возможности участия в работе общества частных акционеров и создания гарантий сохранным

сти инвестированных государственных средств, целесообразно сохранять за государственными инвесторами контрольный пакет акций в ПАО или передавать государственному инвестору право «золотой акции». В любом случае должны быть обеспечены эффективное использование вложенных государством средств, их возвратность государству-инвестору и прибыльность деятельности общества. После достижения устойчивого самовоспроизводства основных средств, принадлежащая государству часть капитала ПАО может быть приватизирована.

Рациональные формы государственной поддержки российских перевозчиков грузов в автомобильном сообщении

С учётом рассмотренных правовых возможностей поддержки государством перевозчиков грузов в международном автомобильном сообщении предлагаются к практическому использованию следующие рекомендации. К возможным срочным мерам относятся:

- временная отмена утилизационного сбора, как минимум, для транспортных средств экологического класса 6, а также новых полуприцепов и прицепов (можно привести пример Указа Президента Республики Беларусь от 20 марта 2021 г. № 123 «О мерах по развитию международных автомобильных перевозок грузов»);

- отмена транспортного налога. Соответствующие поступления в бюджет уже осуществляются в виде акцизов на топливо;

- продление действия порядка по уменьшению исчисленного транспортного налога на суммы, уплаченные по системе «Платон», в отношении транспортных средств, осуществляющих международные перевозки;

- снижение уровня обложения страховыми взносами фонда оплаты труда субъектов малого и среднего предпринимательства, осуществляющих внешнеэкономическую деятельность (вне зависимости от применяемого такими субъектами налогового режима);

- обеспечение возможности использования понижающего коэффициента при установлении страховой премии в отношении полисов ОСАГО для транспортных средств, осуществляющих перевозки грузов и пассажиров в международном сообщении. Основанием для этого является высокий уровень

линейной дисциплины и квалификации экипажей соответствующих транспортных средств;

- создание механизма возмещения на взаимной основе сумм НДС для резидентов стран – членов ЕАЭС при приобретении ими товаров (работ, услуг) на территории других стран, входящих в ЕАЭС, в том числе для международных автомобильных перевозчиков при приобретении моторного топлива и других товаров (услуг).

Анализ опыта существующих механизмов субсидирования зарубежными инвесторами перевозчиков, осуществляющих экспортные перевозки, позволил установить, что эти механизмы разнообразны и являются составляющими элементами в общем пакете принимаемых мер для повышения экспортного потенциала своих стран. Наравне с мерами поддержки перевозчиков, включая субсидирование лизинговых ставок на обновление и модернизацию автомобильного парка, установлением таможенных пошлин, налоговых льгот, в случае недостаточности мер для обеспечения равенства конкурентных условий для национальных перевозчиков, возможно также:

- ограничение квот на выдаваемые разрешения для перевозок в международном сообщении;

- стимулирование конкурентной стороны к равноценному обмену транзитных разрешений на разрешения перевозок в (из) третьи страны путём ограничения транзитного проезда по своей территории.

Для своевременного учёта рисков негативного дисбаланса во внешнеторговой деятельности и сокращения экспортного потенциала, а также в целях разработки и принятия исчерпывающего пакета мер поддержки национальным секторам экономики, в том числе субсидирования международных автомобильных перевозок, органы государственной власти могут активнее использовать автоматизированные системы дистанционного мониторинга и контроля на основе современных информационно-коммуникационных технологий и интеллектуальных транспортных систем.

Государственные программы поддержки автомобильных перевозчиков зачастую имеют узкую направленность и срочный ограниченный характер. Ввиду отсутствия у автомобильных перевозчиков, действующих в междуна-





родном сообщении, собственных (внутренних) источников финансирования воспроизводства автомобильного парка, существует необходимость создания экономического механизма, а также научно-методических основ комплексного подхода к решению научно-хозяйственной проблемы реновации основных средств. Необходимо создание экономического механизма для обеспечения накопления перевозчиками собственных средств с применением как государственно-частного партнёрства, так и венчурного финансирования обновления транспортных средств, используемых в международном сообщении [10]. Разработка и внедрение данного механизма положительно отразится на конкурентоспособности российских автомобильных перевозчиков.

В целях поддержки организаций, осуществляющих перевозки грузов в международном автомобильном сообщении, в ОАО «НИИАТ» разработана методика, обеспечивающая расширенное воспроизводство транспортных средств.

Методика включает:

- анализ структуры парка организаций, осуществляющих международные перевозки грузов по сроку службы;
- анализ финансовых показателей деятельности организаций и тарифов на перевозку;
- создание ПАО с участием государственного капитала;
- субсидирование или беспроцентное кредитование государством денежных средств для поддержки первоначального приобретения двух новых транспортных средств, что даст возможность начислять амортизацию;
- начисление амортизации на транспортные средства по сумме чисел лет с обязательным накоплением начисленных средств. Накопленные средства должны размещаться в надёжных банках и приносить перевозчикам проценты за их использование кредитными организациями;
- приобретение третьего транспортного средства за счёт амортизационных отчислений от двух ранее приобретённых за счёт средств государственной поддержки в момент времени, соответствующий половине срока полезного использования первых двух транспортных средств;
- регулярное приобретение через каждые четыре года нового транспортного средства

за счёт накапливаемых амортизационных отчислений;

- оценка конкурентоспособности совместного предприятия на основе комплексного учёта и сравнения экономических и экологических показателей деятельности с другими организациями, работающими на рынке международных грузовых перевозок, согласно рекомендациям [21].

ВЫВОДЫ

В настоящее время конкурентоспособность российских перевозчиков грузов в международном автотранспортном сообщении существенно ограничена вследствие значительного износа парка транспортных средств и их неполного соответствия экологическим требованиям и стандартам. Перевозчики в массе своей не имеют собственных источников средств для инвестирования своевременного обновления подвижного состава и расширенного воспроизводства основных средств.

Анализ известных подходов показал, что в настоящее время не разработана общепризнанная методология решения проблемы эффективного возобновления основных фондов перевозчиков. Использование для этих целей кредитования и лизинга существенно ограничено вследствие низкой платёжеспособности перевозчиков и отсутствия чёткой перспективы их успешного развития.

Проведённые исследования показали, что автомобильная отрасль нуждается в государственной поддержке. В целях поддержки организаций, осуществляющих автомобильные перевозки грузов в международном сообщении, предложен комплекс мер, обеспечивающих расширенное воспроизводство транспортных средств при осуществлении государственно-частного партнёрства. Также возможно использование государством организационно-правовых форм поддержки автотранспортного бизнеса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. McKinnon, A. C. Freight Transport in a Low Carbon World: Assessing Opportunities for Cutting Emissions. Transport Research News, November–December 2016, Iss. 306, pp. 8–15. [Электронный ресурс]: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews306feature.pdf>. Доступ 26.08.2021.
2. Ku, Donggyun; Bencekri, Madiha; Kim, Jooyoung; Lee, Shinhae; Lee, Seungjae. Review of European Low Emission Zone Policy. Chemical Engineering Transactions, 2020, Vol. 78, pp. 241–246. DOI: 10.3303/CET2078041.

3. Amundsen, A. H., Sundvor, I. Low Emission Zones in Europe: Requirement, Enforcement and Air Quality. Institute of Transport Economics. Norwegian Centre for Transport Research. Norway, Oslo, 2018. 88 p. ISBN 2535-5104. [Электронный ресурс]: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49204>. Доступ 26.08.2021.
4. Muncrief, R., Sharpe, B. Overview of the heavy-duty vehicle market and CO2 emissions in the European Union. International Council on Clean Transportation, Working Paper 2015-6, 14 p. [Электронный ресурс]: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-HDV_mkt-analysis_201512.pdf. Доступ 26.08.2021.
5. Sharpe, B., Muncrief, R. Literature review: Real-world fuel consumption of heavy-duty vehicles in the United States, China, and the European Union. International Council on Clean Transportation, Working Paper 2015-1, 30 p. [Электронный ресурс]: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_HDV_FC_lit-review_20150209.pdf. Доступ 26.08.2021.
6. Hill, N., Finnegan, S., Norris, J., Brannigan, Ch., Wynn, D., Baker, H., Skinner, I. Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy. European Commission – DG Climate Action, ED46904 Final Report 2011, Issue Number 4, 309 p. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/clima/system/files/2016-11/ec_hdv_ghg_strategy_en.pdf. Доступ 26.08.2021.
7. Lajunen, A. Fuel economy analysis of conventional and hybrid heavy vehicle combinations over real-world operating routes. Transportation Research Part D Transport and Environment, August 2014, pp. 70–84. DOI: 10.1016/j.trd.2014.05.023.
8. Thiruvengadam, A. [et al]. Heavy-vehicle diesel engine efficiency evaluation and energy audit. Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions. West Virginia University, 2014, Final report, 62 p. [Электронный ресурс]: <https://theicct.org/publications/heavy-duty-vehicle-diesel-engine-efficiency-evaluation-and-energy-audit>. Доступ 26.08.2021.
9. Tsugawa, S., Jeschke, S., Shladover, S. A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, March 2016, Vol. 1 (1), pp. 1-1. DOI: 10.1109/TIV.2016.2577499.
10. Спирин И. В., Матанцева О. Ю., Богумил В. Н. Реновация подвижного состава: муниципальный лизинг и финансирование обновления // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 128–140. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-1-128-141>.
11. Шейн Д. А. Организация эффективного воспроизводства основных фондов в вертикально-интегрированных компаниях / Автореферат дис... канд. экон. наук. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, 2008. – 26 с. [Электронный ресурс]: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01004161990.pdf. Доступ 26.08.2021.
12. Бабаев Т. С. Экономическое обоснование программы обновления подвижного состава грузовой транспортной компании / Автореферат дис... канд. экон. наук. – М.: МИИТ, 2011. – 24 с. [Электронный ресурс]: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01004941551.pdf. Доступ 26.08.2021.
13. Каштанов Д. Ю. Исследование экономической эффективности механизмов обновления парка подвижного состава / Автореферат дис... канд. экон. наук. – М.: Гос. ун-т упр., 2004. – 23 с. [Электронный ресурс]: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01002800378.pdf. Доступ 26.08.2021.
14. Филин А. Е. Экономическая оценка эффективности обновления подвижного состава с использованием лизинга / Автореферат дис... канд. экон. наук. – М.: МИИТ, 2003. – 24 с. [Электронный ресурс]: <https://viewer.rusneb.ru/ru/rs101002334364?page=1&rotate=0&theme=white>. Доступ 26.08.2021.
15. Титов И. В. Совершенствование экономических методов управления пассажирской автотранспортной организацией / Автореферат дис... канд. экон. наук. – М.: МАДИ, 2012. – 26 с. [Электронный ресурс]: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01005520746.pdf. Доступ 26.08.2021.
16. Матанцева О. Ю., Казанцев И. С. Проблемы воспроизводства основных производственных фондов в автомобильном транспорте // Наука и социум: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (02 декабря 2020 года). – 2020. – С. 102–108. [Электронный ресурс]: http://innclub.info/archives/19742/%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2. Доступ 26.08.2021.
17. Матанцева О. Ю., Титов И. В. Научно-методические основы выбора источников инвестиций для обновления транспортных средств на пассажирском транспорте общего пользования // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – № 2 (29). – С. 70–75. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17724923>. Доступ 26.08.2021.
18. Завьялов Д. В., Сагинова О. В., Смотрицкая И. И., Спирин И. В., Завьялова Н. Б. и др. Развитие форм государственного предпринимательства в российской экономике: Монография / Под ред. Д. В. Завьялова и О. В. Сагиновой. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2017. – 196 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28356500>. Доступ 26.08.2021.
19. Белухин В. В. О роли государства в модернизации инфраструктуры российской экономики // Теория и практика общественного развития. – 2014. – С. 92–96. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22377510>. Доступ 26.08.2021.
20. Варнавский В. Г. Государственно-частное партнерство. – М.: ИМЭМО РАН, 2009. – С. 31–81. [Электронный ресурс]: <https://www.imemo.ru/files/File/ru/publ/2009/09053.pdf>. Доступ 26.08.2021.
21. Савосина М. И. Оценка эффективности устойчивого развития транспорта // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 50–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-50-66>.

Информация об авторах:

Матанцева Ольга Юрьевна – доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научной работе ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, omat@niiat.ru.

Казанцев Иван Сергеевич – аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, ikazantsev@asmap-service.ru.

Низов Михаил Анатольевич – советник генерального директора ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, 0310705@mail.ru.

Спирин Иосиф Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, ivspirin@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021, актуализирована 26.08.2021, одобрена после рецензирования 03.09.2021, принята к публикации 10.09.2021.





Логистика пассажирских перевозок на общественном транспорте для условий цифровой трансформации систем организации транспортного обслуживания



Андрей АКИМОВ



Галина БУБНОВА

*Андрей Валерьевич Акимов¹,
 Галина Викторовна Бубнова²*

¹ ГУП «Московский метрополитен», Москва, Россия.

² Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ² bubisek@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Статья описывает применение моделей спецификации транспортных маршрутов для анализа потребности комбинированных пассажирских перевозок на популярных маршрутах населения в крупной городской агломерации. Раскрывается проблема управления цепочками поездок пассажиров на общественном транспорте (ОТ), а также сложность применения принципа «мульти-modalности» на сети маршрутов населения, обусловленная несопадением схем транспортных и пользовательских маршрутов.

Для исследования логистики перевозок пассажиров на ОТ введено понятие «пользователь общественным транспортом (ПОТ)», имеющий переменный статус отношения к потокам людей, пешеходов, пассажиров и транспорта.

Описаны реестры основных параметров исследуемых маршрутов, необходимые для создания их «цифровых двойников».

Для управления цепочками поездок ПОТ, идентификации связанных участков транспортных маршрутов предлагается выделение в пассажиропотоке профильных течений, в которые включены ПОТ, имеющие общее транспортное поведение.

На основе моделей и алгоритмов сетевой близости к объектам транспортной инфраструктуры, визуализации «цифровых следов» ПОТ и результатов сравнения используемого и наилучшего варианта маршрута по моделируемым параметрам выделяются поведенческие профили ПОТ, а также регуляторы управления цепочками поездок.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, метро, комбинированные перевозки, течения пассажиропотоков, транспортное поведение, сложные маршруты, длинные маршруты.

Для цитирования: Акимов А. В., Бубнова Г. В. Логистика пассажирских перевозок на общественном транспорте для условий цифровой трансформации систем организации транспортного обслуживания // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-7>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы развития транспорта городских агломераций в направлении увеличения протяжённости транспортной сети, связанности маршрутов различных видов пассажирского транспорта, а также организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения обеспечивают повышение уровня «транспортной доступности» и в целом качества общественного транспорта (ОТ). Наряду с улучшением этого важного показателя ОТ как у пассажиров, так и у организаций транспорта возникают определённые трудности.

Для пользователей становятся всё более сложными процессы построения и выбора индивидуального маршрута, обусловленные увеличением числа альтернативных вариантов перемещения по территории крупной городской агломерации с использованием различных маршрутов одного или нескольких видов транспорта. Как показали результаты наших исследований, например, в Московской городской агломерации доля простых маршрутов (без пересадок, с использованием одного вида транспорта) в повторяющихся в течение месяца поездках составляет около 35 %. С увеличением расстояния от места жительства мобильных субъектов до места их длительного пребывания (4–8 часов) количество пересадок на регулярные маршруты пассажирских перевозок растёт. На «длинных» маршрутах продолжительностью более 50 минут в среднем активное население делает 3 пересадки, включая пересадки на различные линии метрополитена.

У перевозчиков усложняются задачи «повышения качества транспортного обслуживания населения», управления перевозками пассажиров на таких маршрутах. Трудности их решения обусловлены непрозрачностью результатов исследований потребности населения в услугах общественного транспорта и перевозках пассажиров на различных участках маршрутной сети ОТ, отсутствием интегрированной транспортно-логистической системы общественного транспорта, а также сквозных технологий исследования потоков движения (пешеходов, пассажиров и транспорта), необходимых для синхронизации и «координации независимых процессов и участников» в сложной «мультиагентной системе» [1].

Целью настоящего исследования является определение современных инструментов анализа и управления цепочками поездок пассажиров на общественном транспорте городской

агломерации. Задача – описание подходов к исследованию логистики перевозок пассажиров на ОТ, моделей спецификации связанных участков транспортных линий на популярных, сложных (комбинированных) маршрутах населения в территориальных границах мегаполиса.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Большое число публикаций посвящено анализу и оценке спроса на перевозки пассажиров применительно к конкретным видам городского пассажирского, отдельно – к уличному-наземному ОТ, метрополитену и железнодорожному транспорту, функционирующему в черте городской агломерации (город-пригород). Доминируют публикации по оценке общей потребности в услугах общественного транспорта на основе данных социологических и маркетинговых исследований. Отдельный блок научных работ затрагивает вопросы построения и выбора оптимального маршрута для пользователя мобильного приложения.

Успешная международная практика интеграции внеуличного и уличного транспорта в рамках единой системы комплексного транспортного обслуживания населения (СКТО-ОТ) определяет необходимость разработки решений, связанных с управлением цепочками поездок пассажиров, логистикой перевозок на всех видах общественного транспорта городской агломерации. Такое управление становится возможным, как отмечают авторы, на основе «логистической интеграции и сотрудничества, принципов мультимодальности», за счёт создания «центра управления городским общественным транспортом для обеспечения эффективной координации пассажирских перевозок» [2]. Авторами были предложены «алгоритмы построения оптимальных маршрутов и статистического анализа пассажиропотока», предназначенные «не для одного человека, а для всего населения города», адаптированные к «реальной транспортной сети с реальными расписаниями» наземного транспорта [3].

Необходимо заметить, что в этом и в большинстве опубликованных в открытой печати алгоритмах используются объёмные показатели пассажиропотоков на транспортных маршрутах, на отдельных участках транспортных линий, которые были получены на основе средств регистрации потока людей на входе в транспортную систему (на станцию),



выходе со станции, в местах пересадки [4]. В них не рассматривались отдельные группы пассажиров, имеющих общее транспортное поведение. Более того, в основе алгоритмов оптимизации работы общественного транспорта лежали среднестатистические значения числа поездок и обобщённые характеристики пассажиров ОТ. Соответственно, исследовался общий пассажиропоток без выделения в нём отдельных профильных течений.

Часто используемые в маркетинговых исследованиях характеристики пассажиров «вид деятельности и доход», как утверждают авторы [5], напрямую не связаны с регулярностью поездок, а значит, и малопригодны для идентификации «популярных» у населения маршрутов. Предложение о необходимости учёта «личных характеристик», «привычек», влияющих, соответственно, на показатель «регулярность» и на транспортное поведение людей, было отражено в работе [5].

Куан Лианг, Джианченг Венг (Quan Liang, Jiancheng Weng) и другие исследователи предложили «метод извлечения цепочки поездок отдельного пользователя» и метод анализа поездок пассажира на основе графической «модели индивидуального поведения», что позволило получить представление о «пространственном положении» объекта исследования и его реальном маршруте, необходимых для дальнейшего «прогнозирование поведения пассажира общественного транспорта» [6]. Информационной базой в предлагаемой технологии исследования служили данные транзакций смарт-карт ОТ. Как отмечают авторы, ранее применимость предлагаемых характеристик пассажиров, их «индивидуальные особенности не были изучены должным образом» [6].

В большинстве научных разработок (методик, алгоритмов, моделях анализа пассажиропотоков и оптимизации маршрутов для множества мобильных людей) применяется критерий – «время в пути» [7]. Часть работ посвящена исследованию влияния на выбор варианта маршрута мобильным субъектом критерия «качество обслуживания» (индекса «удовлетворённости качеством») и финансовой доступности услуг ОТ («стоимости проезда по маршруту»).

В работе Р. Р. Сидорчука и Д. М. Ефимовой предложено качество маршрута оценивать через «удовлетворённость» в «точках контакта» пассажира с объектами транспортной

инфраструктуры [8], а не на участках движения различных потоков. Выбранные в этой работе «статусы респондентов», социальные группы – рабочие, специалисты, студенты, пенсионеры и временно безработные, по нашему мнению, малопригодны для определения популярных, сложных маршрутов ПОТ.

Процессный подход к спецификации потоков на маршрутах людей/транспорта на основе данных автоматической фиксации и обработки изображений (машинного зрения) был описан в работе [9]. Однако практическое его использование в большей степени относится к организации движения транспорта на линиях, определению режимов организованного на транспортном маршруте движения («профилям режимов работы» [9]), а не управлению цепочками поездок населения на ОТ.

Важным шагом в направлении совершенствования методов и инструментов исследования структурированного спроса на услуги общественного транспорта была попытка формализации транспортного поведения людей. Результаты этих исследований нашли отражение в публикациях, посвящённых зонированию карты города по уровню транспортной подвижности в привязке к социально-экономическим характеристикам жилых районов города и транспортной инфраструктуры. В частности, интересной разработкой по спецификации мест зарождения пассажиропотоков и исследованию потребности в комбинированных перевозках на «длинных» маршрутах населения является «гравитационная модель», в которой «интенсивности связей» определяются на основе «коэффициента экономического разрыва» [10]. Результаты этих исследований могут быть полезны, поскольку позволяют объяснить и прогнозировать транспортное поведение населения на территории экономических субъектов. Вместе с тем, они не позволяют определить регуляторы для управления цепочками поездок населения на ОТ и выявить участки транспортных маршрутов, востребованные различными поведенческими группами пассажиров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В отличие от транспортных маршрутов, в которых определены дороги/пути, места для посадки и высадки пассажиров (начальные, конечные пункты, остановки/станции) и направление движения транспортных средств,

маршруты пользователей ОТ имеют включённые пешие участки, на которых население использует имеющуюся в городе улично-дорожную инфраструктуру. Пешие участки ПОТ указывают на отсутствие в определённом месте связанности транспортных маршрутов, а также отсутствие интегрированных остановок и оборудованных переходов, включённых в перечень объектов транспортной инфраструктуры.

Индивиды иницируют и вливаются в различные потоки уличной и транспортной инфраструктуры. Потребности в перевозке на ОТ у них возникают на тех участках индивидуальных (пользовательских) маршрутов, где они прибегают к услугам городского пассажирского транспорта.

Вероятностный характер перемещений людей по территории города и прилегающих к нему населённых пунктов усложняет решение задачи управления логистикой пассажирских перевозок на ОТ. Однако часть поездок и востребованность в комплексных услугах общественного транспорта вполне предсказуема. Это касается массовых, регулярных поездок и схем маятниковой миграции населения в определённые дни недели, месяца и часы.

Для связывания потоков людей, пешеходов, пассажиров, транспорта, очевидно, необходимо выделение ключевого элемента – инициатора движения. Нами был введён термин «пользователь общественным транспортом» (ПОТ). Под ним мы понимаем человека, как части социума и мобильного населения, который одновременно является: пешеходом (участником/частью движения потока людей, потока пешеходов); на объектах инфраструктуры общественного транспорта – пассажиром (частью пассажиропотока); при использовании личного автотранспорта на участках индивидуального маршрута – водителем (участником/частью движения транспортного потока). Это решение позволило нам связать данные о ПОТ из разных источников, создать базу знаний об их перемещениях и транспортном поведении (по ключевым атрибутам Smart-карт и мобильных устройств, зарегистрированных у сотовых операторов), связывать и объединять в потоки по различным признакам.

В отличие от метода «мультимодального планирования и оценки» Тодда Литмана [9] мы предлагаем использовать процессный,

логистический подход к исследованию транспортных маршрутов и управлению цепочками поездок, перевозок пассажиров на ОТ с использованием цифровых технологий. Говорить о «мультимодальности» и о «мультимодальных пассажирских перевозках на ОТ», по нашему мнению, справедливо только в случае полной связанности транспортных маршрутов, совпадения схем индивидуальных маршрутов и маршрутов общественного транспорта городской агломерации. В нашем случае мы используем термины «комбинированные» перевозки пассажиров, «комбинированные» поездки людей на общественном транспорте.

В основе классификации участков транспортных маршрутов лежат схемы транспортного поведения пассажиров (ПОТ) и признаки «популярность», «предсказуемость» выбора, «нечувствительность» к параметру маршрута. Информационной базой для анализа предпочтений ПОТ являются данные о реально используемых маршрутах, осознанного или неосознанного им выбора маршрута из множества альтернативных вариантов маршрутов, который повторяется в схемах маятниковой миграции.

Для описания комбинированного маршрута, выбираемого ПОТ, и создания «цифровых двойников» популярных маршрутов мы используем классический набор параметров.

Для описания транспортных маршрутов: $M_T = \{N_{ост}, T_T, P_T, Q_T\}$, где M_T – метамодель транспортных маршрутов;

$N_{ост}$ – модель реестра «Транспортные узлы, интегрированные остановки ОТ»;

T_T – модель реестра «Время движения по участку транспортного маршрута»;

P_m – модель реестра «Стоимость проезда на транспортном маршруте»;

Q_T – модель реестра «Качество общественного транспорта в нотации LOS».

Для описания маршрутов ПОТ:

$M_{пот} = \{N_{пер}, T_{пот}, P_m, Q_{пот}, U\}$,

где $M_{пот}$ – метамодель характеристик комбинированного маршрута ПОТ;

$N_{пер}$ – модель реестра «Сложность комбинированного маршрута ПОТ»;

$T_{пот}$ – модель реестра «Время в пути следования по участку маршрута ПОТ»;

P_m – модель реестра «Стоимость проезда по комбинированному маршруту определённого типа ПОТ»;





$Q_{\text{пот}}$ – модель реестра «Качество общественного транспорта на комбинированном маршруте ПОТ»;

U – модель реестра «Особо ценная характеристика комбинированного маршрута для ПОТ», включает латентные характеристики (U_H), определяющие выбор маршрута.

Параметр маршрута N определяет количество переходов и их место на схеме маршрута. Учитываются переходы с пешеходных участков на участок транспортного маршрута, пересадки с одного транспортного маршрута на другой.

Параметры T , P , Q , U определяются по каждому участку маршрута ПОТ и объединяются при описании полного маршрута.

Сходство в ценностных установках мобильных субъектов в отношении качества ОТ на маршруте позволяет выделить в потоке пользователей общественным транспортом отдельные течения, которые объединяют латентные группы людей со схожим транспортным поведением.

Предлагаются следующие виды поведенческих профилей ПОТ:

- поведенческий профиль «деловой» (W_H^B) $\rightarrow T$;
- поведенческий профиль «экономный» (W_H^3) $\rightarrow P$;
- поведенческий профиль «требовательный» (W_H^Q) $\rightarrow Q$;
- поведенческий профиль «рациональный» (W_H^O) $\rightarrow P/Q$;
- поведенческий профиль «особый» (W_H^S) $\rightarrow U$;
- поведенческий профиль «безразличный»¹ (W_H^1).

Для экономического обоснования решений, связанных с управлением течениями пассажиропотоков, целесообразно выделить типов ПОТ/пассажир:

- Н1 – ПОТ, оплачивающий полную стоимость проезда по участку/участкам комбинированного транспортного маршрута;
- Н2 – ПОТ, имеющий социальную карту с правом бесплатного проезда на ОТ;
- Н3 – ПОТ, имеющий скидку с тарифа (социальную карту учащегося, студента).

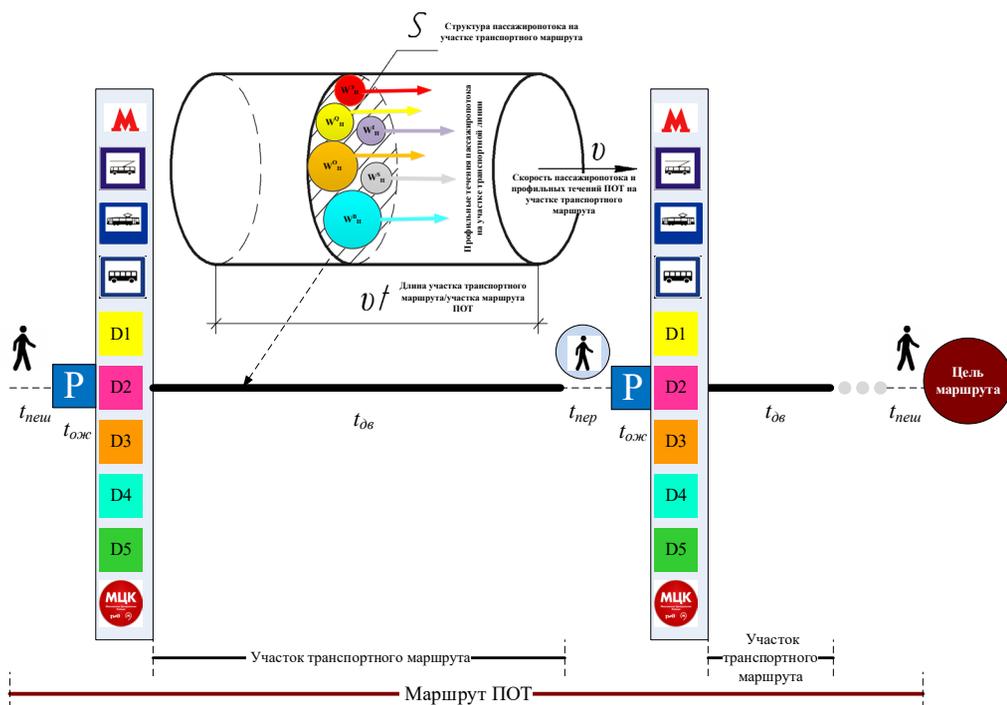
¹ Пользователи данного профиля используют нерациональный маршрут в силу: 1) отсутствия доступной информации о наилучшем для них альтернативном варианте; 2) нежелания искать оптимальный вариант по причине сложности самостоятельно анализировать и оценивать альтернативные варианты; 3) привычки. 1–2 – управляемое поведение ПОТ; 3 – частично управляемое поведение ПОТ.

В этом случае структура маршрута ПОТ и пассажиропотока на участках транспортных маршрутов, задействованных ПОТ, можно представить в виде следующей схемы, рис. 1.

С учётом развития и широкого внедрения цифровых технологий на транспорте становится возможной идентификация и регистрация выбранного участка транспортного маршрута не только различными типами, но и поведенческими профилями ПОТ.

Для исследования структуры индивидуального маршрута, цепочки поездок на общественном транспорте конкретного типа ПОТ широко используются транзакции со смарт-карт мобильного субъекта. В зарубежных транспортных системах имеется полная информация о перемещении типа пассажира (статуса плательщика) по участкам транспортных маршрутов, поскольку организованная система турникетов фиксирует вход людей на объект ОТ, их переход (пересадку) на другие транспортные линии и выход. В российской практике учёт количества и типа пассажира в разрезе тарифной схемы оплаты проезда ведётся только на входе на объекты общественного транспорта. В Научно-образовательном центре «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» (НОЦ ЦВТС) Российского университета транспорта разработаны «модели сетевой близости в информационных системах на транспорте» [11], позволяющие отобразить траектории перемещений по городу людей (без привязки к персональным данным) и построенные на информации, полученной от сотовых операторов. Это позволяет «увидеть» процесс формирования потоков пешеходов, его трансформацию в существенный по объёму пассажиропоток, а также движение по зонам города с возможной привязкой к объектам улично-дорожной и транспортной инфраструктуры без «тотального слежения» за конкретным человеком. На основе «распределения входов/выходов по времени» и «зонирования станций» [12] метрополитена (часто используемого вида транспорта) становится возможной, в этом случае, идентификация популярных, сложных пользовательских маршрутов.

Решение о перемещении по конкретному маршруту в большинстве случаев ПОТ принимает интуитивно, опираясь на опыт или на результаты экспресс-оценки по значимым для него параметрам маршрута. И это не только время и стоимость проезда. В последнее время



Условные обозначения: $t_{пеш}$ – время прохождения пешего участка маршрута; $t_{ож}$ – время ожидания транспортного средства; $t_{об}$ – время движения транспортного средства по участку транспортного маршрута; $t_{пер}$ – время перехода на другой транспортный маршрут.

- | | | |
|--|--|---------------------|
| – остановка/станция/стоянка | – вагон улично-дорожного городского транспорта | – вагон поезда МЦД1 |
| – вагон поезда Метро | – вагон троллейбуса | – вагон поезда МЦД2 |
| – вагон поезда Московского центрального кольца | – вагон трамвая | – вагон поезда МЦД3 |
| | | – вагон поезда МЦД4 |
| | | – вагон поезда МЦД5 |
| | | |

Рис. 1. Универсальная модель структуры маршрута ПОТ (разработано авторами).

значимым становится уровень удовлетворённости качеством ОТ. Последний параметр характеризуют известные индексы лояльности клиентов «SQI (методики SERVQUAL), Customer Satisfaction Index – CSI, американский (ACSI) и общеевропейский (EPSI) индекс» [13], которые применяются на практике в основном для качественного анализа городских улиц, оценки качества пешеходных зон, включая перекрёстки, а также классификации условий и характера движения транспортных потоков, организованных на улично-дорожной сети.

Очевидно, что для ПОТ важными являются значения элементов этого параметра, который отражает качество всех подсистем ОТ на

его индивидуальных маршрутах. В связи с этим модель реестра «Качество общественного транспорта на комбинированном маршруте ПОТ» будет включать следующие оценки: $Q = f(Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7)$, где $Q1$ – оценка уровня качества улично-дорожной инфраструктуры на пешем участке пути ПОТ до объекта инфраструктуры общественного транспорта и доступности ОТ по времени и регулярности его работы.

Оценка $Q1$ определяется следующим образом:

$$Q1 = f(Q10, Q11, Q12),$$

где $Q10$ – оценка удобства парковок для личного автотранспорта с учётом риска отсут-



ствия парковочных мест в заданном временном интервале на участке комбинированного маршрута ПОТ;

Q_{11} – оценка качества дорог, предназначенных для пешеходного движения (включая дорожное покрытие, освещение), а также схем организации перекрёстков, работы светофоров, используемых на начальном участке маршрута ПОТ до места входа на объект сооружения ОТ;

Q_{12} – оценка удобства на начальном участке маршрута ПОТ, места остановки наземного городского транспорта, железнодорожной станции, станции метрополитена и доступности ОТ по времени и регулярности работы.

Оценка Q_2 – качества при входе на объект инфраструктуры общественного транспорта (железнодорожную станцию, станцию метрополитена, остановку наземного городского транспорта) – определяется следующим образом:

$Q_2 = f(Q_{21}, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}, Q_{25}, Q_{26}, Q_{27}, Q_{28})$, где Q_{21} – оценка уровня качества работы и обустройства входа на объект ОТ;

Q_{22} – оценка уровня физического комфорта (очереди прохождения через пункт входа на объект ОТ с учётом риска неисправности внешних относительно турникетов дверей);

Q_{23} – оценка уровня качества атмосферной среды в закрытом помещении, регулируемого транспортными организациями (загрязнения², свежести³ и температуры воздуха, шума, освещения) при входе на объект транспортной инфраструктуры;

Q_{24} – оценка уровня безопасности для здоровья и жизни (наличие систем защиты от нежелательных погодных явлений: осадков, сильного ветра, жары/холода; средств идентификации людей с признаками инфекционных заболеваний, средств обеззараживания; систем противодействия социальным правонарушениям; систем безопасности и уровня чистоты пешеходных участков при входе на объект транспортной инфраструктуры);

² Оценка по ощущению и измерениям наличия посторонних запахов (включая токсины, канцерогены, выхлопы), газов, твёрдых частиц (в форме пыли, саж, пыльцы, дыма и др.), инфекции (в форме плесени, вирусов, бактерий) в количестве, превышающем допустимые нормы.

³ Оценка по ощущению и измерениям уровня насыщенности воздуха необходимыми для дыхания ПЛОТ компонентами в закрытом помещении (соотношение углекислого газа и кислорода).

Q_{25} – оценка уровня эстетического комфорта (дизайна, ненавязчивого и полезного звукового и визуального сопровождения при входе на объект инфраструктуры ОТ);

Q_{26} – оценка уровня информационного комфорта (систем навигации, персональных предложений по оптимизации индивидуальных маршрутов с использованием ОТ);

Q_{27} – оценка уровня качества персонала общественного транспорта на участке входа на объект ОТ (доступности, профессионализма, вежливости, оперативности решения проблемных вопросов);

Q_{28} – оценка уровня качества работы платёжных систем, используемых ПОТ в разрезе способов обслуживания (приобретение билетов через терминалы, кассы, использование сети сотовых операторов, Internet).

Оценка Q_3 – уровня качества на объекте инфраструктуры общественного транспорта (в вестибюле, на эскалаторе, на платформе, остановке наземного городского транспорта) – определяется следующим образом:

$Q_3 = f(Q_{31}, Q_{32}, Q_{33}, Q_{34}, Q_{35}, Q_{36})$,

где Q_{31} – оценка уровня качества среды внутреннего пространства закрытого помещения, регулируемой транспортными организациями (загрязнения, свежести, температуры воздуха, шума, освещения) в вестибюле, на эскалаторе, платформе, остановке наземного городского транспорта;

Q_{32} – оценка уровня безопасности для здоровья и жизни (систем защиты от нежелательных погодных явлений: осадков, сильного ветра, жары/холода; средств идентификации людей с признаками инфекционных заболеваний, средств обеззараживания; систем противодействия социальным правонарушениям; систем безопасности и чистоты пешеходных участков на объекте транспортной инфраструктуры) на платформе, остановке наземного городского транспорта;

Q_{33} – оценка уровня эстетического комфорта (дизайна, ненавязчивого и полезного звукового и визуального сопровождения на объекте инфраструктуры ОТ: в вестибюле, на эскалаторе, на платформе, остановке наземного городского транспорта);

Q_{34} – оценка уровня физического комфорта на объекте инфраструктуры общественного транспорта (в нотации уровня обслуживания (level of service – LOS, например [13]), который рассматривается «как качественная мера влияния ряда факторов, скорость, время

в пути, перебои в движении, свобода манёвра, безопасность, комфорт и удобство» [14]), которая корректируется с учётом риска замедления скорости движения и увеличения плотности пассажиропотока, вызванных повторением случаев неисправности в работе технических средств;

$Q35$ – оценка уровня информационного комфорта (систем информационной поддержки по навигации в ОТ);

$Q36$ – оценка уровня качества персонала общественного транспорта в вестибюле, на станции (его доступности, профессионализма, вежливости, оперативности решения проблемных вопросов) на участке маршрута ПОТ.

Оценка $Q4$ – уровня качества в салоне транспортного средства – определяется следующим образом:

$$Q4 = f(Q41, Q42, Q43, Q44, Q45, Q46),$$

где $Q41$ – оценка уровня качества физического комфорта в салоне транспортного средства для типа ПОТ с учётом дня недели, времени суток, номера вагона в поездах метрополитена и пригородной железнодорожной компании (чел./м²);

$Q42$ – оценка уровня качества атмосферной среды в салоне транспортного средства (загрязнения, свежести и температуры воздуха, шума, освещения);

$Q43$ – оценка уровня безопасности для здоровья и жизни (систем идентификации людей с признаками инфекционных заболеваний, систем оповещения и противодействия социальным правонарушениям; чистоты в салоне);

$Q44$ – оценка уровня эстетического комфорта салона транспортного средства (дизайна, ненавязчивого, полезного звукового и визуального сопровождения во время нахождения ПОТ в салоне, «инновационности» технических и конструктивных решений, видимых ПОТ);

$Q45$ – оценка уровня информационного комфорта (качества мобильной связи: систем навигации; персональных рекомендаций по оперативной корректировке индивидуального маршрута с учётом задержки информации об изменениях параметров СКТО-ТО на планируемых участках комбинированного маршрута ПОТ);

$Q46$ – оценка уровня качества персонала ОТ (водителя, кондуктора наземного общественного транспорта) на участке маршрута ПОТ.

Оценка $Q5$ – уровня качества *пересадочного узла* (перехода на другой транспортный маршрут, линию маршрутной сети) – определяется следующим образом:

$$Q5 = f(Q51, Q52, Q53, Q54, Q55),$$

где $Q51$ – оценка уровня качества перехода, регулируемого транспортными организациями (загрязнения, свежести, температуры воздуха, шума, освещения);

$Q52$ – оценка уровня безопасности перехода для здоровья и жизни (систем противодействия социальным правонарушениям; чистоты переходов);

$Q53$ – оценка уровня эстетического комфорта перехода (дизайна, ненавязчивого и полезного звукового и визуального сопровождения на переходе);

$Q54$ – оценка уровня физического комфорта⁴ перехода (объекта инфраструктуры ОТ) с учётом риска замедления скорости движения и увеличения плотности пассажиропотока, вызванных неисправностью в работе технических средств, несовершенством системы организации и управления движением;

$Q55$ – оценка уровня информационного комфорта (систем навигации в ОТ).

Оценка $Q6$ – уровня качества на выходе из объекта инфраструктуры общественного транспорта – определяется следующим образом:

$$Q6 = f(Q61, Q62, Q63, Q64, Q65),$$

где $Q61$ – оценка уровня качества выхода из объекта инфраструктуры ОТ, регулируемого транспортными организациями (загрязнения, свежести, температуры воздуха, шума, освещения);

$Q62$ – оценка уровня безопасности выхода из объекта инфраструктуры ОТ для здоровья и жизни (систем противодействия социальным правонарушениям; чистоты переходов);

$Q63$ – оценка уровня эстетического комфорта объекта выхода (дизайна, ненавязчивого и полезного звукового и визуального сопровождения на выходе);

$Q64$ – оценка уровня физического комфорта на выходе из объекта инфраструктуры ОТ с учётом риска замедления скорости движения и увеличения плотности пассажиропотока, вызванных неисправностью в работе технических средств, несовершенством системы организации и управления движением;

⁴ Включает оценку высоты ступенек лестницы, удобство перемещения ручной клади и других негабаритных объектов на колёсах, оценку работы эскалаторов.





Q_{65} – оценка уровня информационного комфорта на выходе из объекта инфраструктуры ОТ (систем навигации на финальном участке пути ПОТ).

Оценка Q_7 – оценка качества *улично-дорожной инфраструктуры на пешем участке пути от объекта инфраструктуры ОТ до объекта назначения ПОТ* – определяется следующим образом:

$$Q_7 = f(Q_{71}, Q_{72}),$$

где Q_{71} – оценка качества дорог, предназначенных для пешеходного движения (включая дорожное покрытие, освещение), а также схем организации перекрёстков, работы светофоров, используемых на финальном участке маршрута ПОТ до места объекта назначения;

Q_{72} – оценка уровня удобства на финальном участке маршрута ПОТ места остановки наземного городского транспорта, железнодорожной станции, станции метрополитена.

Кроме качественных показателей, указанных выше, необходимо учитывать также U_h – реестр особых параметров маршрута, значимых для определенного типа и поведенческого профиля ПОТ, который включает скрытое, неявное требование (условие) из реестра «Качество ОТ на комбинированном маршруте».

Отличия нашего подхода к оценке параметра «качество» маршрута от предлагаемого в работе Р. Р. Сидорчука и Д. М. Ефимовой [8] включают: объект качественной оценки (участок движения потока ПОТ), набор индексов качества и статусы, типы и поведенческие профили мобильных субъектов. В структуре индексов качества маршрута включены:

- индекс физической доступности объекта транспортной инфраструктуры на начальном и конечном участке пути, где используется улично-дорожная инфраструктура города;
- индекс безопасности для жизни и здоровья ПОТ;
- индекс, отражающий уровень риска замедления движения на участке маршрута ПОТ или ухудшения характеристики объекта транспортной инфраструктуры, полученный на основе статистических измерений;
- индекс «уникальной характеристики» из реестра особо значимых для поведенческого профиля ПОТ (U).

Для исследования используемых ПОТ маршрутов необходимо формальное описание

допустимого множества комбинированных маршрутов по описанным выше ключевым параметрам. Это описание становится возможным по результатам парного сравнения «реально используемого» и «наилучшего» варианта для определённого типа и поведенческого профиля ПОТ.

Обозначим сравниваемые варианты i и $i+1$, тогда параметры маршрутов будут иметь следующее обозначение:

N_i, N_{i+1} – количество пересадок (сложность комбинированного маршрута), ед.;

T_i, T_{i+1} – время в пути следования по комбинированному маршруту (мин);

P_i, P_{i+1} – общая стоимость проезда по комбинированному маршруту (руб.);

Q_i, Q_{i+1} – интегрированная оценка качества комбинированного маршрута;

U_i, U_{i+1} – ценная для ПОТ характеристика, особый сервис на комбинированном маршруте.

Модель описания множества маршрутов ПОТ имеет следующий вид:

$$SO = \{[(N_i = N_{i+1}) \vee (N_i > N_{i+1}) \vee (N_i < N_{i+1})] \wedge$$

$$[(T_i = T_{i+1}) \vee (T_i > T_{i+1}) \vee (T_i < T_{i+1})] \wedge$$

$$[(P_i = P_{i+1}) \vee (P_i > P_{i+1}) \vee (P_i < P_{i+1})] \wedge$$

$$\left[\left((U_i = 0) \wedge (U_{i+1} = 1) \right) \vee \left((U_i = 1) \wedge (U_{i+1} = 0) \right) \right] \vee$$

$$\left[\vee \left((U_i = 0) \wedge (U_{i+1} = 0) \right) \right]$$

$$\left. \left((U_i = 1) \wedge (U_{i+1} = 1) \right) \right\}.$$

Сравнительный анализ характеристик используемых и альтернативных маршрутов ПОТ позволил нам сформировать описание 162 схем выбора (SO_j) в части предсказуемости и чувствительности к определённым параметрам комбинированного маршрута для различных поведенческих профилей ПОТ.

Фрагмент реестра этого описания схем поведения ПОТ представлен в табл. 1.

На основе повторения маршрута и знания его параметров возможно решение задачи типизации ПОТ, определения его поведенческого профиля. Модель идентификации поведенческих профилей ПОТ на основе используемых схем (SO_j) представлена на рис. 2.

В результате такой идентификации ПОТ следующим шагом становится выделение профильных течений (включающих ПОТ с одинаковыми поведенческими профилями) в пассажиропотоке на различных участках транспортных маршрутов и определение регуляторов, влияющих на востребованность

Фрагмент реестра описания схем поведения ПОТ (составлено авторами)

Обозначение схемы условий выбора маршрута ПОТ	Характеристика поведения ПОТ и аргументация выбора комбинированного маршрута по результатам парного сравнения альтернативных вариантов
SO-1	непредсказуемое поведение ПОТ и выбор маршрута
...	...
SO-6	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от наличия уникального сервиса, нечувствительность к качеству ОТ на маршруте
...	...
SO-25	иррациональное поведение ПОТ, нечувствительность к стоимости проезда и времени в пути следования
...	...
SO-38	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от времени в пути следования и наличия уникального сервиса на маршруте
...	...
SO-50	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от времени в пути следования, стоимости проезда и наличия уникального сервиса
...	...
SO-57	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от качества ОТ на маршруте за счёт его усложнения (увеличение количества пересадок)
...	...
SO-63	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от качества ОТ, допустимость усложнения маршрута, нечувствительность к стоимости проезда
...	...
SO-65	иррациональное поведение ПОТ, нечувствительность к сложности маршрута, качеству ОТ на маршруте и стоимости проезда
...	...
SO-81	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от качества ОТ на маршруте, нечувствительность к сложности маршрута, времени в пути и стоимости проезда
...	...
SO-88	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от стоимости проезда, качества ОТ на маршруте и наличия уникального сервиса, допустимость усложнения маршрута, нечувствительность ко времени в пути следования
...	...
SO-96	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от времени в пути следования и наличия уникального сервиса, допустимость усложнения маршрута, нечувствительность к качеству ОТ на маршруте
...	...
SO-101	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от времени в пути следования, допустимость усложнения маршрута, нечувствительность к стоимости проезда и качеству ОТ на маршруте
...	...
SO-106	предсказуемое, рациональное поведение ПОТ, зависимость выбора от времени в пути следования, стоимости проезда, качества ОТ и наличия уникального сервиса, допустимость усложнения маршрута
...	...
SO-120	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от сложности маршрута и наличия уникального сервиса, нечувствительность к стоимости проезда и качеству ОТ на маршруте
...	...
SO-149	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от сложности маршрута (количества пересадок), времени в пути следования, нечувствительность к качеству ОТ на маршруте
...	...
SO-159	предсказуемое, рациональное поведение ПОТ, зависимость выбора от сложности маршрута, времени в пути следования, стоимости проезда и качества ОТ на маршруте
...	...
SO-162	предсказуемое поведение ПОТ, зависимость выбора от сложности маршрута, времени в пути следования, стоимости проезда и наличия уникального сервиса, нечувствительность к качеству ОТ на маршруте



Маршруты ПОТ, в которых используется параметр «связность маршрута»

Поведенческий профиль «основной» (W^0_n)	Поведенческий профиль «экономичный» (W^1_n)	Поведенческий профиль «рациональный» (W^2_n)	Поведенческий профиль «стремительный» (W^3_n)	Поведенческий профиль «безразличный» (W^4_n)	Поведенческий профиль «особый» (W^5_n)
SO-91, SO-93, SO-95, SO-97, SO-99, SO-101, SO-103, SO-105, SO-107	SO-67, SO-69, SO-71, SO-85, SO-87, SO-89, SO-103, SO-105, SO-107	SO-69, SO-87, SO-105	SO-57, SO-63, SO-69, SO-75, SO-81, SO-87, SO-93, SO-99, SO-105	SO-61, SO-63, SO-65, SO-79, SO-81, SO-83, SO-97, SO-99, SO-101	SO-56, SO-58, SO-60, SO-62, SO-64, SO-66, SO-68, SO-70, SO-72, SO-74, SO-76, SO-78, SO-80, SO-82, SO-84, SO-86, SO-88, SO-90, SO-92, SO-94, SO-96, SO-98, SO-100, SO-102, SO-104, SO-106, SO-108
SO-91, SO-93, SO-95, SO-97, SO-99, SO-101, SO-103, SO-105, SO-107		SO-93, SO-99, SO-105	SO-59, SO-65, SO-71, SO-77, SO-83, SO-89, SO-95, SO-101, SO-107	SO-71, SO-75, SO-77, SO-79, SO-81, SO-83, SO-85, SO-87, SO-89	SO-62, SO-64, SO-66, SO-80, SO-82, SO-84, SO-98, SO-100, SO-102
SO-92, SO-94, SO-96, SO-98, SO-100, SO-102, SO-104, SO-106, SO-108	SO-68, SO-70, SO-72, SO-86, SO-88, SO-90, SO-104, SO-106, SO-108	SO-70, SO-88, SO-106	SO-58, SO-64, SO-70, SO-76, SO-82, SO-88, SO-94, SO-100, SO-106	SO-62, SO-64, SO-66, SO-80, SO-82, SO-84, SO-98, SO-100, SO-102	SO-56, SO-58, SO-60, SO-62, SO-64, SO-66, SO-68, SO-70, SO-72, SO-74, SO-76, SO-78, SO-80, SO-82, SO-84, SO-86, SO-88, SO-90, SO-92, SO-94, SO-96, SO-98, SO-100, SO-102, SO-104, SO-106, SO-108

Рис. 2. Идентификация поведенческих профилей ПОТ по параметрам маршрута (разработано авторами).

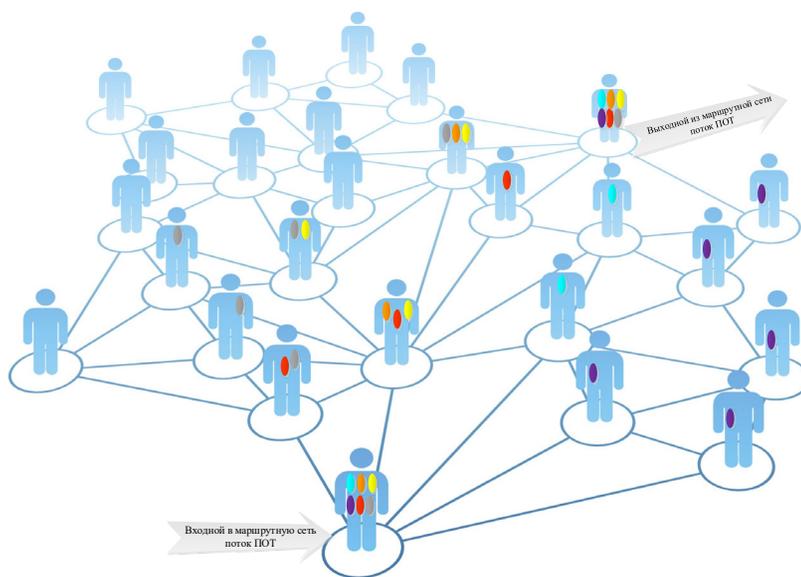


Рис. 3. Маршрутная сеть ПОТ (разработано авторами).

транспортных услуг на конкретном участке популярных маршрутов у населения.

На рис. 3 схематично представлены маршруты движения потока пользователей общественным транспортом в границах городской агломерации с метками поведенческих профилей на участках пеших и транспортных маршрутов.

На схеме видны связанные участки маршрутной сети ПОТ и регуляторы, которые легко определяются по схеме транспортного поведения ПОТ.

Выводы

Комплексные исследования цепочек поездок ПОТ и потоков людей/пешеходов/пассажиров/транспорта на популярных у населения

сложных маршрутах с использованием «цифровых следов» перемещения людей, алгоритмов привязки к объектам транспортной инфраструктуры и выделения связанных течений пассажиропотоков на участках транспортных линий на основе бесконтактного способа определения «игнорируемых» в индивидуальных маршрутах параметров создают необходимые условия не только для повышения качества транспортного обслуживания населения, но и для эффективной организации работы ОТ в динамично растущих городских агломерациях.

В зависимости от степени загруженности транспортных линий, значений показателей пропускной и провозной способности, а также поведенческой структуры пассажиропотока на участках транспортной инфраструктуры

актуальной становится следующая задача – «тонкая настройка» ИТ-приложений экосистемы МaaS. Поскольку в концепции МaaS «мобильность» рассматривается «как услуга», она должна учитывать «потребности всех типов пользователей, должно быть внедрено понятие групп пользователей» [15]. Для организаций транспорта – это инструмент для рационального распределения пассажиропотоков по маршрутам ОТ за счёт изменения времени ожидания и времени движения транспортного средства на линии, параметров LOS, параметра пересадочности (при организации интегрированных остановок различных транспортных маршрутов, строительстве новых дорог, линий, транспортно-пересадочных узлов), обеспечивающий повышение эффективности использования транспортной инфраструктуры и работы перевозчиков. Для ПОТ – это качественная комплексная услуга общественного транспорта с более высоким уровнем потребительской ценности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бубнова Г. В., Покусаев О. Н., Акимов А. В. Управление изменениями в пассажирском комплексе мегаполиса в условиях цифровой трансформации экономики // Сборник научных трудов III международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация в экономике транспортного комплекса», 20 октября 2020, РУТ (МИИТ). – М.: Научно-издательский центр Инфра-М, 2021. – С. 63–69. ISBN 978-5-16-016779-4. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45804303&ppf=1>. Доступ 15.04.2021.
2. Gafforov, M., Tursunboyev, M. Logistic management of urban public transport. Bulletin of Science and Practice, 2021, Vol. 7, No. 4. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/65/39>.
3. Зуева О. Н., Журавская М. А., Сидоренко А. М. Логистическая интеграция и координация управления городским общественным транспортом // Известия УрГЭУ. – 2018. – Т. 19. – № 1. – С. 51–61. DOI: [10.29141/2073-1019-2018-19-1-5](https://doi.org/10.29141/2073-1019-2018-19-1-5).
4. Cao, Shouhua; Yuan, Zhenzhou; Zhang, Chiqing; Zhao, Li. LOS Classification for Urban Rail Transit Passages Based on Passenger Perceptions. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, Vol. 9, No. 2, pp. 99–104. DOI: [10.1016/S1570-6672\(08\)60059-8](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(08)60059-8).
5. Qi, Ouyang; Yongbo, Lv; Yuan, Ren; Jihui, Ma; Jing, Li. Passenger Travel Regularity Analysis Based on a Large Scale Smart Card Data. Journal of Advanced

- Transportation, Vol. 2018, 12 p, Article ID 9457486. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/9457486>.
6. 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. Journal of Advanced Transportation, 2018, 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3859830>.
 7. Trofimov, S. P., Druzhinina, N. G., Trofimova, O. G. Algorithms for constructing optimal paths and statistical analysis of passenger traffic. XI International scientific and technical conference «Applied Mechanics and Dynamics Systems» 14–16 November 2017, Omsk, Russian Federation. Journal of Physics Conference Series, 2018, Vol. 944, pp. 012117. DOI: [10.1088/1742-6596/944/1/012117](https://doi.org/10.1088/1742-6596/944/1/012117).
 8. Сидорчук Р. П., Ефимова Д. М. Исследование удовлетворённости услугами Московского городского пассажирского транспорта // Маркетинг в России и за рубежом. – 2015. – № 6. – С. 32–40. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25630706>. Доступ 15.04.2021. DOI: [10.13140/RG.2.1.4209.0002](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4209.0002).
 9. Litman, T. A. Introduction to Multi-Modal Transportation Planning. Principles and Practices. Victoria Transport Policy Institute, 23 April 2021, 21 p. [Электронный ресурс]: https://www.vtpi.org/multimodal_planning.pdf. Доступ 15.04.2021.
 10. Li, Duo; Zhang, Yan. Study on the Method of Defining the Spatial Scope of Urban Agglomeration. E3S Web of Conferences. 5th International Conference on Advances in Energy and Environment Research, 2020, Vol. 194, pp. 05032. DOI: [10.1051/e3sconf/202019405032](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019405032).
 11. Намиот Д. Е., Покусаев О. Н., Чекмарев А. Е. Модели сетевой близости в информационных системах на транспорте // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 9. – С. 53–58. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43925429>. Доступ 15.04.2021.
 12. Намиот Д. Е., Акимов А. В., Некраплённая М. Н., Покусаев О. Н. Куда и когда – об одном подходе к анализу трафика в городе // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – № 3. – С. 44–48. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44853584>. Доступ 15.04.2021.
 13. Kittelson, W. K. Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service. In: Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity, pp. 5–16. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/267221464_Historical_Overview_of_the_Committee_on_Highway_Capacity_and_Quality_of_Service/link/561e7a5008aeacad1accbe65/. Доступ 15.04.2021.
 14. Highway Capacity Manual. The National Academy of Sciences, Transportation Research board, 2000. ISBN 0-309-06681-6.
 15. Esztergár-Kiss, D., Kerényi, T. Creation of mobility packages based on the MaaS concept. Travel Behavior and Society, 2020, Vol. 21, pp. 307–317. DOI: [10.1016/j.tbs.2019.05.007](https://doi.org/10.1016/j.tbs.2019.05.007).

Информация об авторах:

Акимов Андрей Валерьевич – начальник службы Московских центральных диаметров ГУП Московский метрополитен, Москва, Россия, akimov_post@mail.ru.

Бубнова Галина Викторовна – доктор экономических наук, заместитель директора Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы», профессор Института экономики и финансов Российского университета транспорта, Москва, Россия, Bubisek@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.04.2021, дополнена 06.08.2021, одобрена после рецензирования 19.08.2021, принята к публикации 26.08.2021.





Оценка стоимости часто летающего пассажира



Василий ЖУКОВ

Василий Егорович Жуков

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия.

✉ vasizhukov@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Маркетинговая деятельность современной авиакомпании достаточно разнообразна. В условиях олигополии авиакомпании развивают свой бизнес в конкурентной борьбе за пассажира.

В России в современных условиях использование демпинговых методов начала 1990-х годов является весьма неэффективным, на рынке магистральных авиаперевозок не осталось слабых авиакомпаний, а на региональных рынках крупные компании проигрывают небольшим региональным перевозчикам по причине высокой себестоимости выполнения рейсов на имеющих место в парке авиакомпаний самолётах большой вместимости.

В целом на первое место выходят неценовые методы конкуренции. Традиционными методами ведения борьбы за пассажира остаются гибкая тарифная политика, реклама и высокий сервис в обслуживании пассажиров.

Статья посвящена исследованию ещё одного маркетингового метода, направленного на привлечение, а точнее на удержание пассажиров на рейсах авиакомпании – развитию бонусных программ, программ часто летающих пассажиров.

Для исследования в качестве объекта выбрана авиакомпания «Аэрофлот». Предметом исследования является бонусная программа «Аэрофлот бонус».

Цель исследования – изучить стоимость программы. В исследовании – это стоимость бонусного балла программы часто летающих пассажиров. Задача, которую предлагается решить, – это определить сумму расходов на реализацию бонусной программы часто летающих пассажиров. При решении задачи в её постановочной части оценка не сводится только к прямым расходам, связанным с затратами на маркетинговые усилия в виде расходов на организацию специального отдела рекламы, выпуск бонусных карт, программное обеспечение, заработную плату специалистов. Выполнена оценка косвенных расходов в виде неполученной выручки от бесплатных бонусных билетов. Кроме этого, выполнена приблизительная оценка скрытых расходов авиакомпании из-за неоплаченного места в самолёте. Вывод в конце исследования указывает на то, что скрытые расходы будут учтены в расчёте себестоимости самолётовылета и бонусная программа имеет право на существование.

Ключевые слова: авиация, авиакомпания, пассажир, бонусная программа, бонусный балл, скрытые расходы.

Для цитирования: Жуков В. Е. Оценка стоимости часто летающего пассажира // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-8>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность бонусных программ

В 2020 году авиакомпании мира столкнулись с большими проблемами, возникшими из-за ограничений, связанных с распространением коронавирусной инфекции. Объёмы пассажирских перевозок упали в среднем на 42 %. Потери доходов от перевозок авиакомпаний по предварительным расчётам составили более 400 млрд долларов. Авиакомпании Северной Америки потеряли около 32 млрд, Европы – примерно 98 млрд, страны Азиатско-Тихоокеанского региона – до 86 млрд [1].

Российские авиакомпании снизили объёмы перевозок пассажиров в среднем на 53 % по отношению к 2019 году. Наиболее сильно упали объёмы перевозок у авиакомпании «Аэрофлот», так как большая часть маршрутов авиакомпании приходится на международные перевозки. Менее всего снизили темпы по объёму пассажирских авиаперевозок авиакомпания «Сибирь» и «Победа». Сравнительные показатели по объёмам пассажирских авиаперевозок пяти крупнейших авиакомпаний страны приведены на рис. 1.

В сложных или благоприятных экономических условиях авиакомпании всегда ведут работу по привлечению пассажиров на свои рейсы. Рекламные кампании, гибкая тариф-

ная политика, распродажи – всё это часть маркетинговых приёмов для привлечения пассажиров. Но сверхзадачей маркетинга авиакомпаний является политика удержания пассажиров. Организация работы с пассажирами как с подписчиками услуги – это особая политика всего комплекса маркетинговых мероприятий [2]. В этой связи авиакомпании разрабатывают бонусные программы, позволяющие поощрять постоянных клиентов – «часто летающих пассажиров» (ЧЛП)¹.

Подходы к определениям и задачи исследования

По мнению Л. де Руджа и Ж. Кожана, «программа для часто летающих пассажиров (FFP) – это программа лояльности, предлагаемая большим количеством авиакомпаний. В большинстве случаев клиенты, которые регистрируются в таких программах – часто летающие пассажиры, накапливают мили, километры, точки или сегменты, соответствующие расстоянию, проведённому с этими авиакомпаниями или их партнёрами. Многие авиакомпании также исполь-

¹ Например, в части российских авиакомпаний, см.: Терченко Э. Как заработать на бесплатный авиабилет. Ведомости, 10 августа 2018 года. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/finance/articles/2018/08/10/777839-zarabotat-na-aviabilet>. Доступ 01.05.2021.

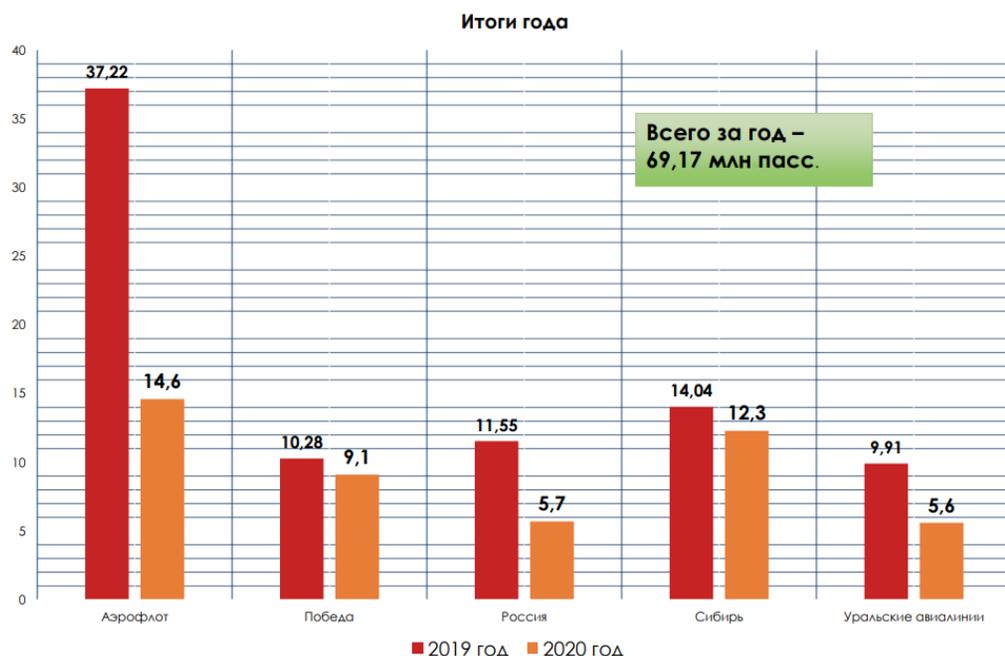


Рис. 1. Объёмы пассажирских перевозок ведущих авиакомпаний РФ (выполнено автором).



зуют и другие способы накопления миль. Например, при использовании кредитных карт определённых банков, аренде автомобилей или проживании в отеле у партнёров программ. В последние годы большинство воздушных миль были «присуждены» за покупки, совершённые с помощью кредитных и дебетовых карт, которые предлагают воздушные мили в качестве вознаграждения за использование карты. Некоторые программы для часто летающих пассажиров также предлагают мили за покупку товаров, продаваемых аффилированными компаниями» [3].

Значение программ для ЧЛП иллюстрирует цитата из статьи О. С. Журавлёвой и М. М. Лембриковой: «С точки зрения маркетинга бонусная программа авиакомпании задумана, как важный инструмент привязки клиента к компании. Она заметно расширяет возможности по привлечению пассажиров» [4]. По мнению этих авторов, «основой программ для часто летающих пассажиров выступает предложение различных стимулирующих схем приобретения дополнительных баллов (варианты: миль, километров) при многократном пользовании услугами авиакомпании либо её маркетинговых партнёров. При этом указанными маркетинговыми партнерами могут выступать не только авиакомпании, но и фирмы, занимающиеся иными видами деятельности, в том числе напрямую не связанными с авиацией – к ним могут относиться сети гостиниц, магазинов, туристических агентств, в которых действует система получения бонусных скидок на основе имеющихся у клиента премиальных баллов по программе для часто летающих пассажиров авиакомпании» [4].

По мнению Йи Гао, программы часто летающих пассажиров авиакомпаний с годами постепенно превратились «в многомиллиардный бизнес». «Точная и справедливая оценка миль программы для часто летающих пассажиров имеет практические последствия» как для авиакомпаний, так и для пользователей (участников программ для часто летающих пассажиров, партнёров авиакомпаний, инвесторов) [5]. Этому вопросу были посвящены специальные исследования² и многочисленные публикации

² Напр., Special Report – The Price of Loyalty, 2012. [Электронный ресурс]: <https://airlines.iata.org/reports/special-report-the-price-of-loyalty>. Доступ 01.05.2021.

в деловой прессе³, в том числе и в условиях пандемии Covid-19⁴.

Вполне легитимным в этой связи является вопрос – а насколько прибыльны программы, связанные с привлечением постоянных пассажиров на рейсы авиакомпании? Ввиду этого в отличие от постановки вопроса в поле изучения условий реализации подобных программ, *цель* исследования связана с изучением стоимости программы. Исходя из того, что «единица измерения – это фундаментальная, измеримая часть, создающая ценность для бизнеса, которую можно измерить» [1], в исследовании единица измерения – это стоимость бонусного балла программы часто летающих пассажиров.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Очевидно, что возникает значительное количество расходов для обеспечения функционирования бонусной программы. Прежде всего, это расходы организационного плана – на создание группы специалистов для управления развитием программы; программное обеспечение; коммуникации с пассажирами посредством их обеспечения картами участников программы ЧЛП; поддержание персональной информации об участниках программы и накоплении баллов на их индивидуальных счетах; обслуживание и информирование пассажиров через действующий колл-центр, либо сайт авиакомпании.

Кроме того, возникают расходы, связанные непосредственно с предоставлением пассажиру авиакомпании бонусного авиабилета. Эти расходы составляют прямые затраты авиакомпании на уплату всех сборов, страхование, бортовое питание. Эти расходы можно посчитать [напр., 6]: например, если в определённый момент аэропортовые сборы за пользование аэровокзалом составляли в среднем около 110 рублей (зависят от аэропорта⁵, и расходы нужно считать

³ Напр., Claire Bushey. US airlines reveal profitability of frequent flyer programmes. Financial Times, September 16, 2020. [Электронный ресурс]: <https://ft.com/content/1bb94cd9-90de-4f15-ace0-3bf390b0f85e>. Доступ 01.05.2021.

⁴ Напр., So Yeon Chun, Evert de Boer. How Loyalty Programs Are Saving Airlines. Harvard Business Review, April 02, 2021. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2021/04/how-loyalty-programs-are-saving-airlines>. Доступ 01.05.2021.

⁵ Напр., Ставки аэропортовых сборов и тарифы за наземное обслуживание воздушных судов российских эксплуатантов в аэропорту Пулково [Электронный ресурс]: <https://pulkovoairport.ru/partners/airlines/rates/airlines/>. Доступ 01.05.2021.

дважды – в отношении прибытия и отправления); тариф за наземное обслуживание пассажира – 300 рублей (опять же дифференцирован по аэропортам); бортовое питание (комплект эконом-класса) стоило 400 рублей; расходы на страхование – 16 рублей, то всего это могло составлять, например, 936 рублей.

Намного сложнее посчитать организационные расходы.

Приводимый далее расчёт является условным, приводится исключительно в целях демонстрации методики, отчётные цифры используются только в целях иллюстрации и не преследуют цели проанализировать деятельность какой-либо компании.

В целом, это отработка методов единичной экономики («unit economics», см., напр.: [7]), где юнитом выбрана услуга в виде программы ЧЛП и рассматривается стоимость привлечения юнит-клиента. В статье не использованы данные о программах авиакомпаний и их производственно-экономических показателях в годы пандемии, для того чтобы не допустить искажения результатов расчётов.

Вначале допустим, что статья расходов на содержание программы часто летающих пассажиров авиакомпании относится к расходам на рекламу и занимает там примерно 30 %. Если при данном допущении считать, что, например, авиакомпанией «Аэрофлот» всего за 2019 год на рекламу потрачено 3 528 252 тыс. рублей⁶, то предположительные расходы на программу ЧЛП составили бы 1 058 475 тыс. рублей. Исследователи эффективности бонусных программ предполагают, что в программах участвует до 15 % перевезённых пассажиров [5]. Для авиакомпании «Аэрофлот» это 5,5 млн пассажиров⁷.

Тогда гипотетически можно предположить, что организационные расходы программы составили бы 192 рубля на пассажира.

Стоимость премиального балла можно посчитать по формуле:

$$A = V/C, \quad (1)$$

где A – стоимость премиального балла (руб.);

V – сумма расходов на перевозку пассажира по премиальному билету (руб.);

C – сумма баллов, необходимых для получения премиального билета (например, 15000).

⁶ Годовой отчёт авиакомпании «Аэрофлот» [Электронный ресурс]: <https://ir.aeroflot.ru/reporting/annual-reports/>. Доступ 01.05.2021.

⁷ Конкретная цифра в отчёте авиакомпании «Аэрофлот» за 2020 год – 8 млн чел.

В гипотетическом примере, указанном выше, стоимость премиального балла составила бы 0,07 рубля. Сумма незначительная, подчёркивающая высокую рентабельность мероприятий по привлечению пассажиров. Но есть ещё и скрытые расходы в виде не полученной выручки от непроданных коммерческих билетов. В связи с этим можно сделать предположительные расчёты – общая выручка от участников программы составит:

$$P = N \cdot T, \quad (2)$$

где P – общая выручка от участников программы (тыс. руб.);

N – число участников программы (чел.);

T – средний тариф (тыс. руб.);

$$P = 5\,500\,000 \cdot 8 = 44\,000\,000 \text{ тыс. руб.}$$

Разные авиакомпании используют разные условия начисления бонусных миль. Так в авиакомпании «Сибирь» мили начисляются за полёты регулярными рейсами авиакомпании в процентах от расстояния и в зависимости от тарифа, по которому осуществляется перевозка⁸. При средней длине воздушных линий авиакомпании «Сибирь» в 2200 км или 1375 миль, можно получить от 687 миль при полёте в эконом-классе до 3437 при полёте в бизнес-классе.

В авиакомпании «ЮТэйр (Utair)» мили составляют от 3 до 7 % от стоимости билета, уровень процента зависит от класса обслуживания⁹.

В авиакомпании «Аэрофлот» мили в программе начисляются в соответствии с расстоянием в милях между аэропортами вылета и прилёта⁶. Так при средней длине воздушной трассы авиакомпании 2670 км, или 1668 миль, участнику программы в среднем начисляется 2000 миль. Премиальный билет на такое расстояние будет стоить не менее 15000 миль.

Таким образом, используя усреднённые показатели расстояния перевозки и стоимости билета, можно сделать вывод, что для получения премиального билета пассажир должен семь раз воспользоваться услугами авиакомпании, при средней стоимости билета 8000 рублей сумма выручки от одного участника программы составит 56000 рублей.

⁸ Официальный сайт авиакомпании «S7 airlines» [Электронный ресурс]: <https://www.s7.ru/ru/>. Доступ 01.05.2021.

⁹ Официальный сайт авиакомпании «ЮТэйр». [Электронный ресурс]: <https://www.utair.ru/>. Доступ 01.05.2021.



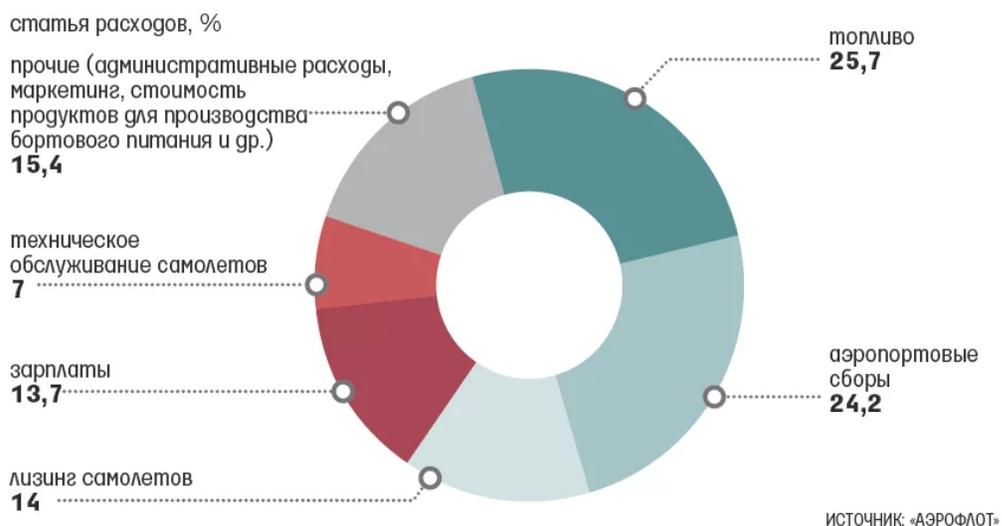


Рис. 2. Структура эксплуатационных расходов авиакомпании⁸.

Коэффициент авиационной подвижности населения страны в 2019 году составлял 87 % при приблизительном подсчёте, учитывая, что население страны в 2019 году было 146 820 700 человек, а авиакомпании страны перевезли 128 127 828 пассажиров.

Учитывая активность передвижения часто летающих пассажиров, можно предположить, что они пользуются услугами воздушного транспорта много чаще, чем среднестатистический житель страны, и даже на общем фоне относительно низкого показателя авиационной подвижности населения можно сделать допущение, что часто летающий пассажир в среднем имеет больше авиаперелётов в течение года. Подсчитаем общее количество миль участников бонусной программы:

$$CM = N \cdot Nm, \quad (3)$$

где CM – сумма миль всех участников программы;

N – общее количество участников программы (чел.);

Nm – среднее количество миль на один билет участника программы.

В цифрах – $CM = 5\,500\,000 \cdot 2000 = 11\,000\,000\,000$ миль.

На один премиальный билет нужно 15 000 миль, следовательно:

количество бонусных полётов в год

$$= \frac{11000000000}{15000} = 733333 \text{ билета.} \quad (4)$$

При средней стоимости билета 8000 руб. скрытые расходы от того, что эти билеты не поступили в коммерческую продажу, составили бы – 5 866 664 тыс. рублей или 1066 руб. на каждого участника программы.

Тогда с учётом скрытых расходов стоимость одного премиального балла (1) составит:

$$A = \frac{936 + 192 + 1066}{15000} = 0,14 \text{ руб.} \quad (5)$$

Продолжить расчёт расходов на перевозку премированных участников программы можно, учитывая тот факт, что часть эксплуатационных расходов авиакомпании также не будет оплачена.

Рассмотрим реальную структуру расходов авиакомпании «Аэрофлот» на определённый момент времени (рис. 2) и рассчитаем некоторые из них, которые также будут влиять на стоимость одного премиального балла.

Посчитаем средние расходы на транспортировку одного неоплаченного кресла. Возьмём для расчётов расходы на топливо, аэропортовые сборы и лизинг самолётов.

Парк воздушных судов группы «Аэрофлот» насчитывал в определённый момент 366 самолётов (табл. 1).

Для определения расходов на перевозку неоплаченного кресла по статье заправка топливом нужно рассчитать средний удельный расход топлива:

$$УРТ = \frac{СРТ}{СККМ}, \quad (6)$$

Таблица 1

Состав парка воздушных судов авиакомпании «Аэрофлот»

Тип самолёта	Количество ВС	Количество кресел	Часовой расход топлива (кг)	Удельный расход топлива (г/ккм)	Максимальный взлётный вес (тонны)
A330-200	5	235	5600	30,74	233
A330-300	17	292	5600	26,64	233
B777-300	5	550	6800	17,17	299
B777-300ER	22	402	7800	26,95	351
B747-400	9	660	10300	21,68	397
A319	35	156	2350	20,92	75,5
A320	85	158	2500	21,98	78
A321	37	183	2740	20,80	93,5
B737-800	87	158	2480	21,80	79
DHC6-400	3	39	480	33,33	5,6
DHC8-200	2	39	540	19,23	16,4
DHC8-300	4	56	560	13,89	19,5
DHC8-400	5	78	680	12,11	29
SSJ100	50	87	1700	27,14	45,9
Всего	366	3092	50130	314,37	1955,4
Среднее значение		221	3581	22,45	139,7

где УРТ – удельный расход топлива (гр./ккм);

СРТ – средний расход топлива для выполнения рейса на среднее расстояние (кг);

СККМ – средний креслокилометраж (ккм).

$$СККМ = L \cdot N_k, \quad (7)$$

где L – средняя длина воздушной линии (2670 км);

N_k – среднее количество кресел (221 из табл. 1).

$$СККМ = 2670 \text{ км} \cdot 221 \text{ к} =$$

$$= 589688,57 \text{ ккм}. \quad (8)$$

При выполнении рейса на среднее расстояние 2670 км со средней скоростью 720 км/час потребуется времени 3 часа 40 минут, расход топлива составит:

$$СРТ = 3,7 \text{ час} \cdot 3581 \text{ кг} = 13278 \text{ кг}. \quad (9)$$

Следовательно удельный расход топлива будет:

$$УРТ = \frac{13278}{589688,57} = 22,52 \text{ гр./ккм}. \quad (10)$$

То есть, чтобы перевезти одно кресло или пассажира на один километр потребуется 22,52 грамма авиационного топлива, а чтобы перевезти пассажира на среднее расстояние

нужно будет 60,12 килограмм топлива. Средняя цена авиационного топлива в апреле 2021 года составила 49 747 рублей¹⁰ за тонну. Тогда неоплаченный расход составит 2990 рублей на каждый премиальный билет.

Вторая статья расходов – аэропортовые сборы¹¹. Средний максимальный взлётный вес воздушных судов, из табл. 1 – 139,7 тонны. Аэропортовые сборы за обеспечение взлёта и посадки (для примера в аэропорту «Шереметьево») составляют 467,55 рублей за тонну максимального взлётного веса, за обеспечение авиационной безопасности в этом же аэропорту – 23,01 рубля за тонну максимального взлётного веса. Тогда неоплаченные расходы за обеспечение взлёта-посадки и авиационной безопасности составят:

¹⁰ Официальный сайт ФАВТ (Росавиация). [Электронный ресурс]: <https://favt.gov.ru/?snm>. Доступ 01.05.2021.

¹¹ Приказ Минтранса РФ от 17 июля 2012 г. № 241 «Об аэронавигационных и аэропортовых сборах, тарифах за обслуживание воздушных судов в аэропортах и воздушном пространстве Российской Федерации». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/70212130/>. Доступ 01.05.2021.





$139,7 \cdot 490,56 = 68\,531,23/221 = 310,09$ рубля на каждый премиальный билет.

Третья статья расходов⁶, выбранная для определения стоимости премиального балла, – это лизинг самолётов. Точные расходы провести трудно в виду большого разнообразия типов воздушных судов, сроков их эксплуатации, но если ориентироваться на значения средних цен стоимости лизинга применительно к одному креслу, то это будет 2000 долларов за кресло в месяц, следовательно = 24 000 в год. Если средний полёт длится 3,7 часа, то в месяц, с учётом необходимых остановок полётов на выполнение регламентных работ, самолёт может выполнить около 100 рейсов. Следовательно, расходы на одно кресло премиального билета составят 20 долларов или 1 500 рублей.

Всего стоимость одного премиального балла составит:

$$A = \frac{936 + 192 + 1066 + 2990 + 310,09 + 1500}{15000} = 0,46 \text{ руб. (11)}$$

Получается так, что авиакомпания несет косвенные и скрытые расходы в размере 46 копеек на каждый балл премиального билета или 6 900 рублей на один билет. Всего за 2019 год по расчётам автора выдано 733 333 премиальных билета, следовательно, косвенных убытков 5 059 997,70 тыс. рублей. Эти убытки, в принципе, существуют умозрительно, но реально покрываются стоимостью билетов, в счёт расчёта себестоимости самолётовылета с учётом коэффициента занятости кресел в пределах 72–75 %, то есть пустые и премиальные кресла оплачены пассажирами.

Можно предположить, что исключение затрат на единицу измерения программы лояльности может привести к снижению стоимости билетов, что увеличит количество продаж. Но программы ЧЛП нацелены на повышение лояльности к торговой марке авиакомпании. Указанный фактор можно доказать положительной динамикой числа участников программ, тогда как влияние других факторов на повышение объёмов перевозки является затруднительным.

ВЫВОДЫ

В качестве вывода можно привести цитату: «Современные методы маркетинговых коммуникаций, с использованием начисления дополнительных баллов наиболее важным для авиакомпании клиентам (например, начисление баллов пассажирам высоких классов обслуживания с коэффициентом, превышающим экономический класс в полтора либо два раза за один и тот же перелёт), являются общепризнанными факторами, обуславливающими увеличение показателей пассажирооборота и повторного пользования услугами авиакомпании» [6].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

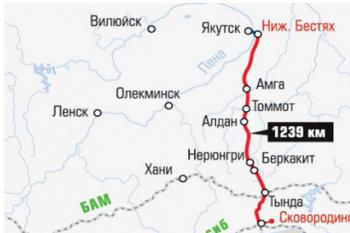
1. Влияние новой коронавирусной инфекции (COVID-19) на гражданскую авиацию: Анализ экономического влияния. Монреаль, Канада, 28 апреля 2020 года, ИКАО, Бюро воздушного транспорта. [Электронный ресурс]: <https://favt.gov.ru/public/materials/9/8/0/5/d/9805d3e83386f50ff9a9560087aa4cc9.pdf>. Доступ 01.05.2021.
2. How to Build a Product Marketing Strategy for Your Software Solution. Electronic journal «Altexsoft», 2019, No. 09. [Электронный ресурс]: <https://www.altexsoft.com/blog/business/how-to-build-a-product-marketing-strategy-for-your-software-solution/>. Доступ 01.05.2021.
3. De Rooij, L., Koczan, Z. Frequent Flyer Programs. Encyclopedia of Economics and Society, 2015. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/312292943_Frequent_Flyer_Programs Доступ 01.05.2021.
4. Журавлёва О. С., Лембрикова М. М. Особенности формирования программ лояльности потребителей (на примере отрасли международных авиаперевозок) // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки 1-1. – 2013. – С. 133–138.
5. Gao, Y. A Conceptual Framework for Valuating Airline Frequent Flyer Program Miles. International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace. 2020, Vol. 7, Iss. 1. DOI: 10.15394/ijaaa.2020.1447.
6. Андреев А. В. Эффективное управление программой для часто летающих пассажиров как маркетинговый инструмент повышения конкурентоспособности российских авиакомпаний // Практический маркетинг. – № 1. – 2012. [Электронный ресурс]: <https://www.cfin.ru/press/practical/2012-01/03.shtml>. Доступ 01.05.2021.
7. Unit Economics: Striking a Balance between Customer Lifetime Value and Acquisition Cost. Electronic journal «Altexsoft». 2019, No. 22. [Электронный ресурс]: https://www.altexsoft.com/blog/business/unit-economics-striking-a-balance-between-customer-lifetime-value-and-acquisition-cost/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=NewsletterFeb4&utm_term=N4&utm_content=al. Доступ 01.05.2021. ●

Информация об авторе:

Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 12.05.2021, одобрена после рецензирования 25.06.2021, актуализирована 30.06.2021, принята к публикации 10.09.2021.

Т



РЕГИОНАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА 82

Особенности развития транспортных связей в Арктической зоне на примере Якутии: макроанализа недостаточно? Необходимо изучение сезонной доступности отдельных участков транспортной сети.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ 92

В поиске методологии обоснования внедрения: общие принципы и факторы, особенности российских условий.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ МАГИСТРАЛИ 102

Драйверы роста и барьеры развития. Международный опыт становления и перспектив ВСМ.



ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА ПРЕДПРИЯТИЯ 110

Внедрение цифровых технологий и машинного зрения в процессе взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.02

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-9>

Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития



Ирина ПОЛЕШКИНА

*Ирина Олеговна Поleshкина**Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва, Россия.**✉ ipoleshkina@mail.ru.*

АННОТАЦИЯ

Транспортная доступность Арктической зоны представляет для России стратегический интерес с точки зрения возможности освоения полезных ископаемых и дальнейшего комплексного развития этой части страны.

Цель исследования заключается в проведении пространственного анализа транспортной системы Республики Саха (Якутия), выявлении её топологических свойств и ограничений, препятствующих достаточному транспортному обеспечению территории. На основании метода пространственного анализа проведено исследование её состояния и дана оценка транспортной обеспеченности территории по трём видам сообщений: транспортное обеспечение внутренних региональных (местных) перевозок, транспортное обеспечение доступа (въезда и выезда) на территорию региона и транспортное обеспечение транзитных перевозок по территории региона.

Ключевые слова: транспортная система, Республика Саха (Якутия), аэропортовая сеть, водный транспорт, Арктическая зона, автозимник, транспортная обеспеченность территории.

Исследование показало, что при организации пассажирских перевозок основным видом транспорта является воздушный, тогда как грузовые перевозки осуществляются сезонно водным транспортом и автотранспортом по автозимникам.

Определены районы Якутии, имеющие доступ к транспортным магистралям и изолированные от них. На основании расчёта коэффициента Энгеля дана математическая оценка транспортной системы региона, которая говорит о недостаточном её развитии из-за отсутствия круглогодичных путей сообщения в районах Крайнего севера и Арктической зоны. Пути сообщения этой части региона представлены сезонными автозимниками и водными магистралями, что не позволяет оценить их круглогодичный потенциал. Для его оценки необходим учёт сезонной доступности каждого отдельного участка сети.

Для цитирования: Поleshкина И. О. Транспортная система Республики Саха (Якутия): анализ состояния и проблемы развития // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 82–91. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-9>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Республика Саха (Якутия) является не только самым большим административно-территориальным субъектом Российской Федерации, но и самой большой административно-территориальной единицей в мире. Её общая площадь с учётом континентальной и островной частей составляет 3,1 млн кв. км. Более 50 % территории республики находится за Полярным кругом (около 1,63 млн кв. км). Арктическая зона Республики Саха (Якутия) превосходит площадь Арктической зоны Канады [1].

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации¹, сухопутная территория Арктической зоны Республики Саха (Якутия) включает территории 13 районов (улусов): Абыйского, Аллаиховского, Анабарского национального (Долгано-Эвенкийского), Булунского, Верхнеколымского, Верхоянского, Жиганского национального эвенкийского, Момского, Нижнеколымского, Оленекского эвенкийского национального улуса, Среднеколымского, Усть-Янского и Эвено-Бытантайского национального улуса.

При столь большой площади территории население региона насчитывало по данным Росстата на 1 января 2021 г. всего 981 971 чел. (0,32 чел. на кв. км). Доля городского населения составляла 66,1 %, сельского – 33,9 %. Большая часть населения Якутии проживает в центральной части региона (около 500 тыс. чел.). Крупнейшими городами являются административный центр Якутск, Нерюнгри, Алдан, Ленск, Мирный, Вилюйск, Айхал и Удачный. Неравномерное расселение объясняется сложными природно-климатическими условиями северной части территории, что затрудняет развитие транспортной системы и обеспечение транспортной доступности всех удалённых малонаселённых пунктов [2–4].

Вместе с тем Республика Саха (Якутия) представляет большой экономический интерес с точки зрения освоения богатейших полезных ископаемых. На территории Республики располагаются 82 % запасов алмазов страны, 17 % золота, 61 % урана, 82 % сурьмы, 6,2 % железной руды, 40 % угля, 28 % олова и 8 % ртути².

¹ Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями, внесёнными Указом Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 220). [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70547984/>. Доступ 07.07.2021.

Также на её территории имеются запасы редкоземельных элементов. Широкое развитие получила алмазодобывающая отрасль. Также в регионе постепенно развивается добыча нефтегазовых ресурсов.

Развитие добывающей промышленности требует наличия надёжной транспортной инфраструктуры, необходимой для доставки ресурсов производства (строительных материалов, топлива, техники, специалистов) и вывоза добываемой продукции [5]. Однако большая площадь территории, природно-климатические условия, наличие вечной мерзлоты, особенности рельефа, дисперсионная система расселения определяют высокую стоимость строительства транспортных магистралей. По данным правительства Республики Саха, в транспортном отношении Якутия является одним из самых изолированных и труднодоступных регионов мира, так как 90 % её территории не имеет круглогодичного транспортного сообщения³. При распределении бюджета приоритет получают транспортные проекты, направленные на развитие экономически и социально оправданных связей, имеющих преимущественно межрегиональное и страновое значение в ущерб внутренним и локальным связям [6]. Особенности транспортной системы Республики Саха (Якутия) являются безальтернативность действующих транспортных схем доставки, состоящих из нескольких звеньев, включающих в себя сезонные пути, а также ограниченная взаимозаменяемость видов транспорта и путей сообщения, которые приводят к повышенным затратам времени на поездки, монополизации транспорта и росту издержек (высоким тарифам) [7].

Цель настоящего исследования заключается в проведении пространственного анализа транспортной системы Республики Саха (Якутия), выявления её топологических свойств и ограничений, препятствующих достаточному транспортному обеспечению территории.

² Горнорудная промышленность. Министерство промышленности и геологии Республики Саха (Якутия). Официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://minprom.sakha.gov.ru/gornorudnaja-promyshlennost/gornorudnaja-promyshlennost-gorno>. Доступ 07.07.2021.

³ Республика Саха (Якутия). [Электронный ресурс] // Совет Федерации Федерального собрания Российской Федерации. Электронный ресурс]: <http://council.gov.ru/structure/regions/SA/>. Доступ 07.07.2021.





МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование состояния транспортной системы Республики Саха (Якутия) на первом этапе проводилось на основании пространственного анализа размещения и топологической структуры действующих сетей водного, железнодорожного и автомобильного транспорта. Анализ топологической структуры транспортной сети осуществлялся согласно методологии С. А. Гархова [8; 9]. Среди основных топологических свойств транспортных сетей он выделяет: пространственную связанность и изолированность, взаимное упорядочивание элементов (их взаимное расположение), отношение соседства, цикличность и разветвлённость линейных элементов сети. Для оценки топологической структуры транспортной системы Республика Саха (Якутия) использовались результаты исследований дефектов транспортных сетей регионов Сибири и Дальнего Востока [7; 10].

Далее был проведён анализ транспортной обеспеченности региона с точки зрения обеспечения перевозок по трём видам сообщений: транспортное обеспечение внутренних региональных (местных) перевозок, транспортное обеспечение доступа (въезда и выезда) на территорию региона и транспортное обеспечение транзита по территории региона. Потребность разделения показателя транспортной обеспеченности на три составляющие обусловлена тем, что эффективного функционирования Арктической транспортной системы невозможно достичь без обеспечения качественных транспортных подходов к ней [11]. На основании проведённого анализа были определены районы, имеющие доступ к транспортным магистралям и изолированные от них. Далее, на основе данных статистической информации Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Саха (Якутия), были рассчитаны показатели протяжённости транспортных магистралей в расчёте на 1000 кв. км площади территории и в расчёте на 10 000 жителей, показатели деятельности каждого вида транспорта и определено их место в структуре пассажирских перевозок и грузооборота региона.

Для математической оценки уровня развития транспортной системы Республики Саха (Якутия) использовался коэффициент Энгеля с учётом протяжённости круглогодично действующих магистралей автомобильного и железнодорожного транспорта [12–14]. Слож-

ность оценки транспортной обеспеченности Республики Саха (Якутия) заключается в наличии большого количества сезонных транспортных коммуникаций, что не позволяет оценить их круглогодичный потенциал [15–17].

РЕЗУЛЬТАТЫ. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Исторически сложилось, что из-за большой площади территории, природно-климатических особенностей и наличия крупнейшей речной артерии на территории Республики Саха (Якутия) (РС(Я)) *речной транспорт* является наиболее дешёвым и востребованным. Протяжённость эксплуатируемых водных путей сообщения в РС(Я) составляет 21,8 тыс. км, из которых 13,6 тыс. км являются обслуживаемыми, а гарантированные глубины обеспечиваются на 9,2 тыс. км (рис. 1). Сеть водного транспорта Якутии составляют русла шести рек: Лена (4440 км), Анабар (939 км), Оленёк (2292 км), Яна (872 км), Индигирка (1726 км) и Колыма (2129 км) с их притоками и участок Северного морского пути. Главной водной магистралью республики является р. Лена с притоками Алдан (2273 км) и Вилюй (2650 км) [18]. Лена является третьей рекой России по площади бассейна после Оби и Енисея. Кроме того, это крупнейшая река в мире, которая протекает по территории вечной мерзлоты. Протяжённость морской береговой линии Якутии составляет 4,5 тыс. км. Анализ показал, что речные пути республики обеспечивают доставку грузов в 17 улусов из 34 и город Якутск, включая 11 из 13 улусов Арктической зоны (кроме Оленёкского и Эвено-Бытантайского). Доставка грузов на территорию региона осуществляется, как правило, с верховья р. Лена в период открытия навигации. Далее грузы ожидают открытия навигации в верховье реки и на Северном морском пути (СМП). По СМП грузы доставляются судами класса река–море до русел северных рек и по ним до районных центров. В районных центрах грузы депонируются на складах и в зимнее время автомобильным транспортом по автозимникам развозятся до населённых пунктов. Доставка грузов по такой схеме в среднем занимает около года. Период навигации на реках варьирует от 45 до 130 суток в зависимости от района плавания, климати-



Рис. 1. Сеть водного транспорта Республики Саха (Якутия)
 (Доставка грузов водным транспортом на территорию Республики Саха (Якутия). А-Сервис. Доставка грузов в труднодоступные регионы. [Электронный ресурс]: <https://as-sib.com/uslugi/rechnyie-perevozki/lena>. Доступ 07.07.2021).

Таблица 1

Протяжённость водных путей и динамика производственных показателей водного транспорта Республики Саха (Якутия)*

Показатели	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Протяжённость речных путей сообщения, тыс. км	16 520	16 522	16 522	16 522	16 522	16 522	16 522
Перевезено всего, тыс. тонн	2 757,5	2 942,3	2 709,4	2 731,8	2 745,8	2 411,8	2 798,0
В том числе: ПАО «ЛОРП»	1 124,0	1 305,0	1 315,0	1 167,0	1 416,0	1 280,0	1 241,0
Прочие	1 633,5	1 637,3	1 394,4	1 564,8	1 329,8	1 131,8	1 557,0
Грузооборот всего, млн т*км	2 471,1	2 721,1	2 484,2	2 248,9	2 236,7	2 160,6	2 276,0
Перевезено пассажиров, тыс. чел.	252,9	354,6	310,4	337,4	312,0	312,0	нет данных
Пассажирооборот, млн пасс. км	22,6	26,1	22,3	27,4	28,6	27,7	нет данных

*Составлено автором на основании данных Министерства транспорта и дорожного хозяйства РС(Я).

ческих условий, уровня воды, объёмов и качества проводимых изыскательных и дноуглубительных работ. На реках Лена, Яна, Индигирка, Колыма навигация начинается в конце мая – начале июня. На барах указанных рек, на Оленёкской протоке, реке Оленёк и по прибрежным морским маршрутам навигация начинается в конце июля – начале августа. Навигация на морских участках ограничивается 40–70 сутками с 15 июля до 7 октября. Порт Тикси мелководный и не способен принимать крупнотоннажные морские суда. Максимально допустимая осадка составляет 5,6 м, поэтому разгрузка осуществляется на рейде, и из-за сентябрьских штормов период навигации сокращается до 30–40 суток [19]. В этих условиях остро стоит вопрос углубления акватории морского порта Тикси, через который осуществляется связь региона с Северным морским путём. Без решения данной проблемы невозможно полноценное использование потенциала Северного морского пути.

Кроме того, в летние месяцы происходит обмеление рек Якутии, что требует введения

ограничений по осадке судов, приводящих к потере провозной способности действующего флота. По данным Ленского объединённого речного пароходства в 2020 году в период мелководья на участках р. Яна флот эксплуатировался с загрузкой только 30–50 %, на участках р. Индигирка – с загрузкой 50 %. В 2020 году ситуация усугубилась в связи с лесными пожарами в бассейнах Лены, Вилюя, Алдана, Колымы, которые спровоцировали практически нулевую видимость. В результате с 5 по 12 августа был введён запрет на движение вниз по течению реки Алдан⁴. Динамика производственных показателей водного транспорта и протяжённость водных путей представлены в табл. 1.

Ограничения, связанные с обмелением рек и сокращением коммерческой загрузки речных судов, приводят к снижению грузооборота речного транспорта.

Железнодорожный транспорт Якутии представлен единственной Амуро-Якутской магистралью, соединяющей Транссибирскую

⁴ Ленское объединённое речное пароходство. Годовой отчёт по результатам работы за 2020 г. – Якутск, 2021 г. – 37 с.



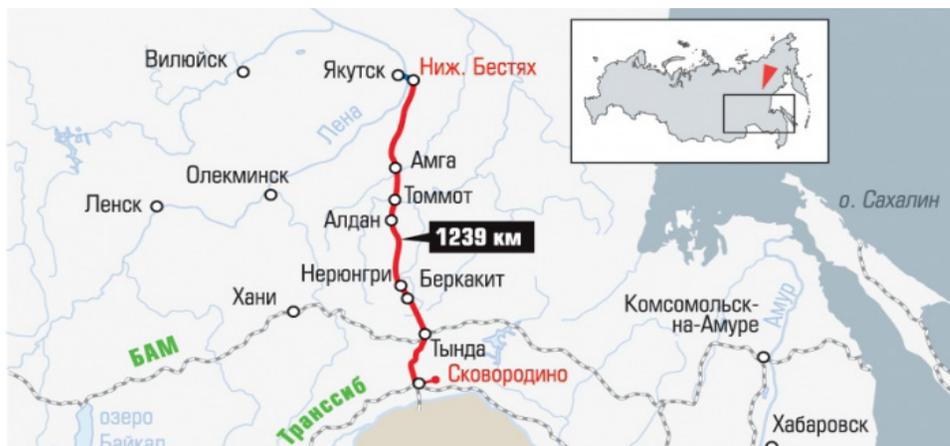


Рис. 2. Амуро-Якутская железнодорожная магистраль.
Телеканал Россия 24. [Электронный ресурс]: <https://www.youtube.com/watch?v=MFJS1sQGRHs>. Доступ 07.07.2021.

и Байкало-Амурскую магистрали с противоположным от г. Якутска берегом на р. Лена в 10 км от посёлка Нижний Бестях. Её протяжённость составляет 767 км (рис. 2).

Отсутствие моста через реку Лена не позволяет проложить железнодорожную ветку до столицы региона Якутска. В результате грузы, доставляемые железнодорожным транспортом, переваливаются на речные суда или деponируются на складах в посёлке Нижний Бестях и в зимний период по ледовой переправе автомобильным транспортом доставляются в г. Якутск. Строительство автомобильного моста, которое начато в 2021 г., позволит частично решить данную проблему за счёт организации круглогодичных автомобильных перевозок пассажиров и грузов на противоположный берег реки Лена.

Основными категориями грузов, доставляемых железнодорожным транспортом, являются уголь, строительные материалы и нефтепродукты, грузы в контейнерах, продовольственные товары, лес и лесоматериалы. Пассажирское сообщение осуществляется ежедневно. Протяжённость железнодорожной магистрали и показатели деятельности представлены в табл. 2.

По данным Министерства транспорта и дорожного хозяйства РС(Я), увеличение грузоперевозок по железной дороге связано с ростом объёмов перевозок продовольствия в связи с введением в действие с начала 2018 года единого более низкого тарифа ОАО «РЖД» по преysкуранту 10–01, а также транспортировки угля угледобывающими предприятиями.

В отсутствие разветвлённой сети железнодорожного транспорта *автомобильный транспорт* в РС(Я) является единственным доступным наземным видом транспорта. Однако автомобильная сеть также развита слабо, имеет территориальную изолированность отдельных участков дорог и сезонность использования. Размещение сети автомобильных дорог федерального, регионального и местного значения, включая автозимники, по территории РС(Я) схематично представлено на рис. 3.

По территории республики проходят три трассы федерального значения. Трасса А-360 «Лена» протяжённостью 1157 км соединяет трассу Р-297 «Амур» и посёлок Нижний Бестях. До Якутска трасса не доходит, так как отсутствует мост через р. Лена. Летом переправа осуществляется на пароме, зимой – по льду реки (с декабря по апрель), в период ледохода и ледостава – судами на воздушной подушке [20]. В Нижнем Бестяхе автомагистраль стыкуется с трассой Р-504 «Колыма». Федеральная трасса «Колыма» имеет протяжённость 2032 км, соединяет Нижний Бестях с Магаданом и выходит на побережье Тихого океана. Строится трасса федерального значения А-331 «Виллой», которая должна будет соединить Тулун Иркутской области через Братск, Усть-Кут, Мирный, с Якутском. На территории Якутии действует участок от Мирного до Якутска, на территории Иркутской области – от Тулуна до Усть-Кута, остальные участки соединяют автозимники. В северных и арктических районах республики протяжённость



Рис. 3. Расположение сети автомобильных дорог Республики Саха (Якутия) круглогодичного и сезонного использования. (Как проложить зимник на месяц раньше? Круглый стол в Общественной Палате РС (Я). [Электронный ресурс]: <https://dnevnik.ykt.ru/nikbara/1114992?mobile=true> <https://dnevnik.ykt.ru/nikbara/1114992?mobile=true> Доступ 07.07.2021). Зелёным, более тёмным цветом отмечены автозимники, пунктиром показаны автозимники, которые в настоящее время не поддерживаются.

Таблица 2

Протяжённость путей сообщения и показатели деятельности железнодорожного транспорта Республики Саха (Якутия)*

Показатели	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Протяжённость, км	525	525	525	525	525	525	525
Объём перевозки грузов, тыс. тонн	2 158,2	2 928,1	4 015,5	4 681,6	5 501,8	6 683,6	6 067,7
Грузооборот, млн т*км	337,2	410,1	519,8	581,7	615,8	1 047,4	1 628,4
Перевезено пассажиров, тыс. чел.	88,8	75,6	74,9	79,6	83,6	93,1	81,7
Пассажирооборот, млн пасс. км	26,5	22,9	34,4	35,3	37,1	49,4	39,5

*Составлено автором на основании данных Министерства транспорта и дорожного хозяйства РС(Я).

автомобильных дорог с круглогодичной эксплуатацией крайне незначительная. Более 92 % автомобильных дорог РС(Я) составляют сезонные дороги (автозимники).

Протяжённость путей сообщения и показатели деятельности автомобильного транспорта в РС(Я) представлены в табл. 3.

Грузооборот автомобильного транспорта с 2017 года имеет положительную динамику, так как данный вид сообщения является единственно доступным для населённых пунктов, расположенных вдали от речных артерий.

Общая протяжённость сети автомобильных дорог в Республике составляет 38 998,7 км, однако более половины дорог имеет сезонное использование и представляет собой автозимники. Общая протяжённость дорог с твёрдым покрытием составляет 12 205,9 км (31,3 %). Дороги федерального значения составляют 3 586,2 км, из которых твёрдое покрытие имеют 3 313,6 км (92,4 %), регионального значения – 13 152,7 км, из которых с твёрдым покрытием – 3 545,3 км (27,0 %), местного значения –

22 259,8 км, из которых с твёрдым покрытием 5 347,0 км (24,0 %) ⁵.

Сроки работы автозимников напрямую связаны с погодными условиями и ледоставом на реках. В среднем сроки работы автозимников не превышают четырёх месяцев – с конца декабря по конец апреля (25.12–25.04). Повышения эффективности их использования можно добиться путём увеличения точности прогноза ледовых явлений на всех водных участках региона. Одна из методик уточнения точности прогноза предложена в работах Н. А. Филипповой [21].

Воздушный транспорт является единственным в транспортной системе РС(Я), способным обеспечить круглогодичную транспортную доступность всех районов и населённых пунктов. В системе воздушного транспорта аэропорты являются её главными узлами, связанными между собой маршрутной сетью авиакомпаний и наземными видами транспорта. На террито-

⁵ Постановление правительства Республика Саха (Якутия) № 146 от 27.03.2010 г. (с изменениями на 17.05.2021 г.)





Таблица 3

Протяжённость магистралей и показатели деятельности автомобильного транспорта Республики Саха (Якутия)*

Показатели	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Автомобильные дороги общего пользования с твёрдым покрытием, км	11 367	11 714	11 766	11 900	12 047	12 205
Перевезено грузов, тыс. тонн	14 401,4	26 057,3	26 396,0	20 696,0	21 316,4	22 612,0
Грузооборот, млн т•км	1 643,2	2 279,0	2 304,1	2 185,2	2 333,8	2 651,0
Перевезено пассажиров, млн чел.	92,5	96,2	нет данных	96,6	94,7	нет данных
Пассажирооборот, млн пасс•км	447,0	483,6	нет данных	475,4	456,4	нет данных

* Составлено автором на основании данных Министерства транспорта РС(Я).

Таблица 4

Показатели деятельности воздушного транспорта

Показатели	2014	2015	2016	2017	2018	2019*
Отгружено и разгружено грузов и почты, тонн	31 672,46	28 253,74	32 772,26	32 361,40	27 348,40	22 575,61
Грузооборот, млн т•км	82,3	69,9	73,3	67,7	48,9	52,1
Отправлено и принято пассажиров, чел.	1 567 655	1 624 624	1 675 180	1 757 327	1 760 858	1 849 467

* Составлено на основании данных Министерства транспорта РС(Я) за 2014–2018 гг., данные за 2019 г. предоставлены руководством аэропортов и не включают данные аэропорта Талакан и обработку почты в аэропортах Якутск и Мирный.

рии Республики Саха (Якутия), по данным Федерального агентства воздушного транспорта на 28.05.2021 г., действует 31 аэропорт⁶. До 2024 года запланирована реконструкция 16 аэропортов в столице республики и районных центрах⁷. Аэропортовая сеть республики обслуживается четырьмя организациями: 28 аэропортов находятся в ведении Федерального казённого предприятия «Аэропорты Севера». «Аэропорт Якутск», имеющий федеральное значение, управляется ОАО «Аэропорт Якутск». Аэропорт «Талакан» управляется АО «Аэропорт Сургут». Аэропорт «Мирный» управляется Мирнинским авиационным предприятием АК «АЛРОСА» (ПАО)⁶. Показатели их деятельности представлены в табл. 4.

Объём грузовых перевозок воздушным транспортом в РС(Я) незначительный и формируется, главным образом, из скоропортящейся и фармацевтической продукции, доставляемой для обеспечения удалённых территорий. Сокращение пассажирских авиаперевозок обусловлено ростом цен на топливо и, как следствие, стоимости билета. На территории Арктической

зоны Республики действуют 14 аэропортов (аэродромов) и одна авиационная площадка в посёлке Нижнеянк, которые находятся в ведении Федерального казённого предприятия «Аэропорты Севера». Полёты в эти аэропорты осуществляются из административного центра с частотой один-два рейса в неделю. Авиарейсы на местных маршрутах осуществляются бортами АН-24 с вместимостью 48 мест и Let L-410 Turbolet вместимостью 19 мест со средней загрузкой от 30 до 70 %, что является экономически неэффективным. Поэтому авиакомпании сокращают частоту рейсов для увеличения коэффициента загрузки [7; 22].

Пространственное размещение аэропортов и маршруты Арктической зоны воздушного транспорта представлены на рис. 4.

Расчёты, проведённые автором, показали, что в 2019 году основной объём транспортной работы на территории региона пришёлся на автомобильный транспорт и составил 2 651,0 млн т•км (40 %), грузооборот речного транспорта сократился и составил 2 276,0 млн т•км (34 %), грузооборот железнодорожного транспорта вырос и составил 1 628,4 млн т•км (25 %), грузооборот воздушного транспорта составил 52,1 млн т•км (менее 1 %). Изменения произошли в связи с повышением роли железнодорожного транспорта и переориентацией на него части грузовых потоков на участке Усть-Кут–Нижний Бестях с водного транс-

⁶ Государственный реестр аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации по состоянию на 28.05.2021.

⁷ Таюрский В. Полоса разгона // Российская газета. – 11 февраля 2021 года. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2021/02/11/reg-dfo/v-iaikutii-nachinaetsia-massovaiarekonstrukciia-aeroportov.html>. Доступ 07.07.2021.



Рис. 4. Аэропортовая сеть РС(Я) и действующая маршрутная сеть регулярных авиаперевозок Арктической зоны. Составлено автором на основании анализа расписаний рейсов АК «Полярные авиалинии» и «Якутия».

Таблица 5

Показатели, характеризующие уровень транспортной обеспеченности территории Республики Саха (Якутия)*

Показатели	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Плотность автомобильных дорог с твёрдым покрытием в расчёте на 1000 кв. км территории, км	3,69	3,80	3,82	3,86	3,91	3,96
Плотность железнодорожных магистралей в расчёте на 1000 кв. км территории, км	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Плотность автомобильных дорог с твёрдым покрытием в расчёте на 10 000 жителей, км	118,79	122,06	122,20	123,40	124,58	125,57
Плотность железнодорожных магистралей в расчёте на 10000 жителей, км	5,49	5,47	5,45	5,44	5,43	5,40
Коэффициент Энгеля	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

* Рассчитано автором на основании данных Министерства транспорта РС(Я).

порта. При организации пассажирских перевозок в пригородном сообщении преимущество имеет автомобильный, а в междугороднем внутрирегиональном – воздушный транспорт.

В табл. 5 представлен расчёт показателей транспортной освоенности территории Республики Саха (Якутия), однако эти показатели не учитывают ограничения сезонной доступности водного транспорта. Протяжённость автозимников в расчёте показателей не учитывалась.

РС(Я) имеет крайне низкую плотность автомобильных дорог с твёрдым покрытием, так как они вообще отсутствуют в северной части региона. Протяжённость железнодорожной магистрали также очень незначительная по отношению к общей площади региона.

В результате коэффициент Энгеля в РС(Я) составляет всего около 0,01. Для сравнения среднее значение коэффициента Энгеля по Дальневосточному федеральному округу составляет 0,37, а по Сибирскому федеральному округу – 0,53, однако в этих расчётах не учитывается сезонность используемых водных путей сообщения. В целом по Российской Федерации коэффициент Энгеля составляет 0,6. Если при расчёте коэффициента Энгеля для РС(Я) учитывать протяжённость водных путей и автозимники без учёта сезонного использования, то его величина составит 0,03. Сложность учёта сезонности использования путей водных и автодорожных путей сообщения связана с разным периодом эксплуатации





разных участков сети и требует детального математического анализа.

Выводы

Пространственный анализ транспортной системы РС(Я) позволил сделать следующие выводы.

Преобладающее значение в организации грузовых перевозок по территории всего региона имеют сезонные сети автозимников и речные пути, особенно за пределами южной и центральной частей региона. Речное сообщение и автотранспортные перевозки осуществляются в меридиональном направлении и не имеют достаточных связей между собой.

Основную роль в организации местных пассажирских перевозок между муниципальными районами играет воздушный транспорт, аэропортовая сеть которого слабо развита и связывает между собой только административный и районные центры региона. Высокие тарифы на перевозки снижают доступность внутрирегиональных авиаперевозок. Высокая роль воздушного транспорта является объективной необходимостью и подтверждается опытом многих стран [23–26].

В отношении транспортного обеспечения доступа (въезда и выезда) на территорию РС(Я) можно говорить о её полуизолированном положении, так как северные районы не имеют связанности автодорожной сети с твёрдым покрытием с трассами федерального значения, железнодорожное сообщение осуществляется только до посёлка Усть-Кут и не связывает столицу региона с федеральной железнодорожной магистралью.

На территории РС(Я) сформировалось несколько пространственных форм транспортной обеспеченности [7; 27–29]:

- Центральный транспортный узел: город Якутск, расположенный на пересечении трех федеральных трасс «Лена, «Колыма», «Вилюй», железной дороги «Беркакит–Томмот–Нижний Бестях» и водного пути по реке Лена «Усть-Кут–Ленск–Якутск–Тикси» [28], при этом обеспечению его круглогодичной связанности с федеральными трассами препятствует отсутствие моста через р. Лена;

- Южный транзитный транспортный узел: г. Нерюнгри (Якутск–Алдан–Нерюнгри), обслуживающий круглогодично г. Якутск [28] с ограниченным сообщением в периоды осеннего ледостава и весеннего паводка, с доступом к федеральной трассе «Лена» и Амур-

Якутской железной дороге, через него осуществляется вход и выход на общероссийскую транспортную сеть [23];

- Западный транспортный узел: г. Мирный, возникший благодаря развитию алмазодобывающей промышленности (Усть-Кут–Ленск–Мирный–Удачный–Оленёк–Саскылах);

- Восточная транзитная транспортная ось (Якутск–Хандыга–Усть-Нера) с дополнительно формирующимся «плечом» через автозимники в промышленные арктические районы с конечными пунктами Депутатский и Зырянка [28];

- Арктическая транспортная ось (Якутск–Тикси и арктические реки) в сочетании с системой автозимников обеспечивает «Северный завоз», однако её функционирование затрудняется из-за мелководности морского порта Тикси, ограничивающей возможности обслуживания грузовых морских судов.

Формирование выделенных зон развития транспортной системы РС(Я) обусловлено развитием ресурсодобывающей промышленности в регионе и не обеспечивает круглогодичной транспортной доступности малонаселённых северных поселений. Всё это препятствует социальному и экономическому развитию региона. Основным направлением повышения транспортной обеспеченности РС(Я), на наш взгляд, является развитие сети воздушного транспорта и расширение числа местных воздушных маршрутов. Для более точной математической оценки транспортной обеспеченности территорий необходимы глубокий анализ сезонного периода использования всех участков сети и введение соответствующих данных в формулу расчёта коэффициента Энгеля [30].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скрыбина И. В. Формирование «точек роста» как фактор развития региона (на примере Республики Саха (Якутия)) // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 12 (101). – С. 390–394.
2. Ayele, Y. Z., Barabadi, A., Barabady, J. Dynamic spare parts transportation model for Arctic production facility. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2016, Vol. 7, Iss. 1, pp. 84–98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13198-015-0379-x>.
3. Филиппова Н. А., Ефименко Д. Б., Ледовский А. А. Обеспечение эффективности транспортных процессов в районах Крайнего Севера // Мир транспорта. – 2018. – № 4. – С. 150–159. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1499/1775>. Доступ 07.07.2021.
4. Полешкина И. О. Полифункциональность транспортной системы северных регионов // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 2 (81). – С. 104–116. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-2-104-116>.
5. Rodrigue, E., Comtois, C., Slack, B. *The Geography of Transport Systems*, 4th Edition. Routledge, 2017, 440 p.

6. Дронов В. П. Инфраструктура и территория: географические аспекты теории и российской практики. М.: Изд-во МПГУ, 1998. – 246 с.
7. Неретин А. С., Зотова М. В., Ломакина А. И., Тархов С. А. Транспортная связанность и освоенность Восточных регионов России // Известия РАН. Серия Географическая. – 2019. – № 6. – С. 35–52. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019635-52>.
8. Тархов С. А. Эволюционная морфология транспортных сетей. – Смоленск-М.: Универсум, 2005. – 386 с.
9. Тархов С. А. Транспортная освоенность территории // Вестник Московского университета. – Сер. 5. География. – 2018. – № 2. – С. 3–9. [Электронный ресурс]: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/397>. Доступ 07.07.2021.
10. Тархов С. А. Анализ топологических дефектов сухопутной транспортной сети регионов Сибири и Дальнего Востока // Региональные исследования. – 2019. – № 3 (65). – С. 53–62. DOI: 10.5922/1994-5280-2019-3-5.
11. Дабиев Д. Ф., Дабиева У. М. Оценка транспортной инфраструктуры макрорегионов России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 11-2. – С. 283–284. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24311897>. Доступ 07.07.2021.
12. Киселенко А. Н., Малащук П. А., Сундуков Е. Ю., Фомина И. В. Прогнозные ориентиры развития транспортных подходов к западной части арктической транспортной системы // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – № 3 (65). – С. 63–73. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.2019.65.3.63-73.
13. Лебедева Н. А. Оценка транспортной обеспеченности Северо-Западного федерального округа // Научный журнал НУИ ИТМО. Серия экономика и экономический менеджмент. – 2021. – № 2. – С. 47–54. DOI: 10.17586/2310-1172-2021-14-2-47-54.
14. Цыганов В. В., Еналеев А. К., Савушкин С. А. Показатели сложности организационных структур управления транспортными сетями // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – № 11. – С. 6–16. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24396025>. Доступ 07.07.2021.
15. Егорова Т. П. Методический инструментарий комплексной оценки транспортной обеспеченности локальных экономических систем в регионах Севера // Тренды и управление. – 2018. – № 1. – С. 14–28. DOI: 10.7256/2454-0730.2018.1.24926.
16. Егорова Т. П., Мярин А. Н. Модель организации пассажирских перевозок в Арктической зоне Якутии // Транспортное планирование и моделирование: Сб. трудов II Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2017. – С. 120–126. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35445590>. Доступ 07.07.2021.
17. Филлипова Н. А., Власов В. М., Богумил В. Н. Обеспечение эффективной и надежной доставки грузов северного завоза для районов Крайнего Севера и Арктической зоны России. – М.: ООО «Технополиграфцентр», 2019. – 224 с.
18. Бегиев В. Г., Ратушняк С. С., Москвина А. Н. Медицинская помощь работникам водного транспорта в Республике Саха (Якутия) // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – 2014. – № 54. – С. 68–72. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22570894>. Доступ 07.07.2021.
19. Полешкина И. О. Оценка эффективности продовольственного обеспечения районов Крайнего Севера России // Экономика региона. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 820–835. DOI: 10.17059/2018-3-10.
20. Волкова Е. В., Сидорова Д. С. Реконструкция автомобильных дорог в сложных природных условиях Сибири и Дальнего Востока // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 7 (78). – С. 81–85.
21. Filippova, N. A., Belyaev, V. M. The development of basic algorithms for processing navigation data in dispatching control system of road transportation of goods and passengers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, No. 832 (1), pp. 012047. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012047>.
22. Олейников В. А. К вопросу авиатранспортного обеспечения исследования и освоения Арктической зоны Российской Федерации // Наука и транспорт. Гражданская авиация. – 2013. – № 3 (7). – С. 10–13.
23. Button, K., Doh, S., Yuan, J. The role of small airports in economic development. Journal of airport management, 2010, Vol. 4, No. 2, pp. 125–136.
24. Widener, M., Saxe, S., Galloway, T. The Relationship between Airport Infrastructure and Flight Arrivals in Remote Northern Canadian Communities. Arctic, 2017, 70 (3), pp. 249–258. [Электронный ресурс]: <http://www.jstor.org/stable/26379738>. Доступ 07.07.2021.
25. Große, C. Airports as Critical Infrastructure: The Role of the Transportation-by-Air System for Regional Development and Crisis Management. 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Macao, pp. 440–444. DOI: 10.1109/IEEM44572.2019.8978905/.
26. Fiser, A. Report on Infrastructure for Development in Canada's North. Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Canadian High Arctic Research Station, The Conference Board of Canada, 2015, 79 p. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/322235338_Report_on_Infrastructure_for_Development_in_Canada's_North. Доступ 07.07.2021.
27. Тотонова Е. Е., Пахомов А. А. Территориальная организация транспортной системы арктических районов Республики Саха (Якутия) // Вестник СВФУ. Серия: Науки о Земле. – 2019. – № 4 (16). – С. 113–123. DOI: 10.25587/SVFU.2020.16.49747.
28. Тотонова Е. Е. Транспортная инфраструктура Республики Саха (Якутия) и особенности пространственного развития // Московский экономический журнал. – 2020. – № 9. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10659.
29. Куклина В. В., Осипова М. Е. Роль зимников в обеспечении транспортной доступности арктических и субарктических районов Республики Саха (Якутия) // Общество. Среда. Развитие. – 2018. – № 2. – С. 107–112. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35534194>. Доступ 07.07.2021.
30. Савушкин С. А., Цыганов В. В. Транспортные показатели пространственного развития // В сборнике: XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. – Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – 2019. – С. 2266–2271.

Информация об авторе:

Полешкина Ирина Олеговна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте Московского государственного технического университета гражданской авиации, Москва, Россия, ipolshkina@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.07.2021, одобрена после рецензирования 27.08.2021, принята к публикации 10.09.2021.





Проблемы принятия решений о реализации технологических инноваций на транспорте



Екатерина КОЩЕЕВА



Светлана ЛЯПИНА

*Екатерина Олеговна Кощеева¹,
Светлана Юрьевна Ляпина²*

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

✉ ² syl2002@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются особенности транспорта как объекта технологических инноваций, обусловленные, с одной стороны, сервисным характером основной деятельности и спецификой инновационных процессов при транспортно-логистическом оказании услуг, а, с другой стороны, высокой капиталоемкостью и технологической сложностью инфраструктурного транспортного комплекса, в котором сосредоточены технологические инновации.

Цель статьи – обосновать исходные предпосылки для разработки альтернативного подхода к принятию стратегических решений о развитии транспортных организаций на основе технологических инноваций, который наряду с традиционным обоснованием экономической эффективности учитывает ряд внеэкономических факторов. Методом обоснования является системный стратегический анализ, позволяющий исследовать особенности транспортного комплекса в контексте факторов внешней среды и их динамики.

Применительно к Российской Федерации масштабы территории, природно-климатическое разнообразие и неравномерность территориального распределения ресурсной и производственной базы обуславливают особую роль и место транспорта в национальной экономике, что достаточно часто приводит к необходимости принятия решений о развитии транспортного комплекса, исходя из преимущественно внеэкономических факторов (таких, как безопасность, надёжность, экологичность и др.) и на основе научно-

технических, политических и социально-экономических прогнозов. В то же время практически во всех отраслях транспорта в современных российских условиях доминируют частные предприятия (с участием государства или без), работающие на принципах рентабельности, инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности, что приводит к противоречивости внутренних критериев принятия решений в области технологических стратегий.

Дополнительным и существенным фактором, определяющим общие направления развития транспорта, является происходящая в настоящее время смена технологической парадигмы, в основе которой лежат процессы цифровизации и цифровой трансформации транспортно-логистического бизнеса. Проблемы принятия решений о реализации технологических инноваций на транспорте, возникающие вследствие его особенностей, обуславливают потребность пересмотра подходов, поскольку экономические оценки эффективности не всегда способны отразить реальную необходимость и целесообразность выбора направлений технологического развития транспортного комплекса.

Анализ особенностей транспортно-логистической отрасли на основе обобщения универсального опыта и привлечения примеров российской практики в контексте становления новой технологической парадигмы позволяет обосновать методологию принятия стратегических решений о реализации технологических инноваций.

Ключевые слова: транспорт, транспортные услуги, технологические инновации, цифровизация и цифровая трансформация транспорта, процесс принятия стратегических решений, тренды технологического развития транспортного комплекса.

Для цитирования: Кощеева Е. О., Ляпина С. Ю. Проблемы принятия решений о реализации технологических инноваций на транспорте // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-10>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одним из аспектов проблем принятия решений о развитии транспорта является совершенствование подходов к обоснованию выбора стратегии технологической модернизации транспортного комплекса.

В Российской Федерации транспорт играет важную роль в обеспечении устойчивого экономического развития страны и обеспечении её национальной безопасности вследствие территориальных масштабов, неравномерного распределения ресурсной и производственной базы, климатических и географических различий между регионами страны. Главная задача транспорта – обеспечение целостности, единства и связности территории Российской Федерации на основе надёжного циркулирования грузо- и пассажиропотоков как условия эффективного функционирования экономики страны [1]. Недостаточное внимание к проблемам развития транспорта может привести к угрозе национальной безопасности (в широком смысле): от разрыва производственно-логистических цепочек и прекращения торгово-экономических отношений с другими странами до разрушения связности и нарушения систем жизнеобеспечения отдельных регионов и территорий.

Несмотря на то, что в настоящее время в транспортной отрасли как в России, так и в других странах разработаны и используются методические положения для оценки эффективности инновационно-технологических решений, служащие обоснованием для разработки технологических стратегий, практика показывает, что результаты оценки далеко не всегда отражают реальные последствия реализованных инновационных проектов, поскольку не в достаточной мере учитывают внеэкономические факторы и критерии принятия решений. В связи с этим возникает необходимость уточнения подхода к обоснованию решений о реализации инноваций на транспорте, учитывающего более широкий набор факторов и критериев с учётом отраслевой специфики. Для этого необходимо выделить ключевые предпосылки для разработки альтернативного подхода к принятию стратегических решений о развитии транспортных организаций на основе технологических инноваций, что и является *целью* данного исследования. Эта цель достигается за счёт *анализа* специфики транспорта как объекта инноваций посредством выделения внеэкономических

аспектов принимаемых решений как отдельных исследовательско-аналитических задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Транспорт, являясь сложной организационно-технической системой, имеет характерную специфику, обусловленную его принадлежностью к сервисным отраслям экономики: основным результатом функционирования транспорта являются транспортно-логистические услуги. Согласно классическому подходу операционного менеджмента [2], особенность технологического процесса оказания услуг состоит в том, что клиент (потребитель) непосредственно вовлечён в процесс оказания услуг, а оператор находится в постоянном контакте с клиентом, поэтому одним из основных показателей функционирования сервисных организаций становится «клиентоориентированность» [1].

Исходя из принципа клиентоориентированности, на транспорте можно чётко провести границу между основными и вспомогательными технологическими и бизнес-процессами:

- к *основным* процессам относятся те технологические и бизнес-процессы, которые обладают ценностью и важны (значимы) для клиента, служат основой для принятия решений о получении услуги и определяют технологическую конкурентоспособность транспортной организации;

- *вспомогательные* технологические и бизнес-процессы лишь обеспечивают потребности самой сервисной организации, оставаясь при этом вне системы ценностей клиентов и обладая значимостью, в первую очередь, либо для самой транспортной организации, либо для создания условий и возможности устойчивой реализации основных технологических и бизнес-процессов.

Но для транспорта, который является высокотехнологичной отраслью, именно вспомогательные компоненты и процессы транспортных систем являются наиболее ресурсоёмкими и сложными: это инфраструктура, транспортные средства или подвижной состав и др. Вследствие этого основная доля инноваций на транспорте реализуется именно во вспомогательных компонентах и процессах, практически незаметно для клиента, что формирует негативную оценку клиентов об уровне инновационной активности транспортных организаций. Например, переход к автовождению на железных дорогах, являющемуся прорывной



технологической инновацией, практически незаметен для пассажира беспилотного поезда. В то же время маркетинговая инновация, например изменения дизайна оформления состава, очевидна, но не всегда позитивно воспринимается как необходимая и полезная инновация.

Другим следствием доминирования вспомогательных процессов и компонентов в инновациях в транспортных системах является низкая продуктивность одного из традиционных способов инициации инноваций – исходя из новых или прогнозируемых рыночных потребностей (*market pull*), которые не всегда связаны со вспомогательными или обеспечивающими процессами. Более того, в основных видах деятельности транспортных организаций новые услуги, способные стать инновациями, возникают достаточно редко: перевозки грузов и пассажиров, а также услуги по обработке грузов или сервис перед поездкой и в пути следования мало изменились по своей сути за последние 100–200 лет – подвергались изменениям преимущественно технологии их оказания: рос уровень механизации и автоматизации, осваивалась новая транспортная техника, модернизировалась транспортная инфраструктура и др. [3]. Поэтому инновационная активность транспорта в основном концентрируется в сфере технологических процессных инноваций. Следовательно, проблемы принятия стратегических решений в области технологических процессных инноваций приобретают для транспорта особую значимость.

Если обратиться к примеру России, то нужно учитывать и другие факторы. Территориально-географическое положение страны и, следовательно, её транспортной системы являются предпосылкой для создания международных транспортных коридоров и организации транзита пассажиро- и грузопотоков по оси «Европа–Азия» [4]. Рост объёмов транзитных перевозок наземным транспортом требует не только модернизации путевой инфраструктуры, но и расширения набора дополнительных услуг, обеспечивающих конкурентоспособность российского транзита на глобальном рынке перевозок. Однако следует обратить внимание на то, что большая часть инноваций на транспорте – несмотря на их масштабность и высокую ресурсоёмкость – в данной области также оказывается вне поля зрения клиентов – пассажиров и грузо-

зотправителей/грузополучателей. Так, спрямление криволинейных участков в восточной гористой части Транссиба для обеспечения тяжеловесного и скоростного движения поездов [5], скорее всего, окажется незаметным для пассажиров и грузоотправителей, хотя речь идёт не только о новых технологиях строительства железных дорог, но и о принципиально других технических решениях организации и регулирования движения, включая беспилотное вождение составов.

Высокая капиталоемкость транспортного бизнеса неизбежно приводит к увеличению размеров компаний вплоть до формирования или сохранения естественных монополий или образования олигополий. Например, в России данная особенность характерна для всех видов транспорта: в гражданской авиации практически не осталось средних и малых авиапредприятий при безусловном доминировании ПАО «Аэрофлот», мелкие частные таксопарки вынуждены объединяться на платформах агрегаторов *Uber*, *Gett* и *Яндекс*, на железных дорогах сохраняется естественная монополия ОАО «РЖД». Аналогичные тренды прослеживаются и за рубежом. Вследствие монополизма на рынке у транспортных компаний отмечается более низкая склонность к инновациям, они более консервативны в своих решениях о реализации нетиповых и существенно отличающихся от используемых технологий и технических решений. При принятии решения о закупке новой транспортной техники крупные компании предпочитают устоявшиеся технологические решения с минимальными рисками операционной и эксплуатационной деятельности, поэтому, как правило, покупают не инновационную, а серийно производимую продукцию, то есть более не относящуюся к инновационной для своего производителя. При этом сами транспортные организации оказываются «инновационно активными» или «осуществляющими инновационную деятельность», поскольку согласно определениям статистических органов^{1,2}, речь может идти о первых трёх годах применения в организации новой техники

¹ Указания по заполнению формы федерального статистического наблюдения № 4-инновация. Сведения об инновационной деятельности организации. КонсультантПлюс, 1997–2021. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_359374/. Доступ 20.01.2021.



Рис. 1. Динамика ВВП и грузооборота по видам транспорта РФ (накопленная), 2000–2020 гг. [построено авторами на основании данных Росстата^{3,4,5}].

и технологии, независимо от инновационности последних¹.

Вследствие высокой капиталоемкости период перехода на новый технологический базис в транспортных организациях оказывается достаточно длительным и может достигать нескольких десятков лет, выходя за нормативное определение инновационного периода до трёх лет¹. С этих позиций принятие решения о внедрении новых технологических решений на транспорте должно приниматься с учётом длительного периода эксплуатации техники и использования технологий, где ошибочное решение будет оказывать негативное влияние на эффективность транспортного бизнеса в течение многих лет. Так, решение об электрификации железнодорожных магистралей оказывается эффективным лишь при дешёвой электроэнергии, тогда как изменение соотношения в ценах между электроэнергией и углеводородным топливом может привести к постоянным потерям на перевозках за счёт использования более дорогих энергоресурсов. Вследствие этого при принятии решений о технологической модернизации необходимо учитывать долгосрочный и сложно прогнозируемый контекст принимаемых решений.

Ещё одна особенность сервиса – невозможность «работы на склад» для снижения пико-

вых нагрузок, а также высокая зависимость от экономической активности других отраслей экономики. По сути, экономическая активность транспорта есть производная от ситуации в экономике страны: в случае общего экономического спада пропорционально снижается спрос на перевозки и логистические операции независимо от уровня технологической готовности транспорта, его пропускной способности и специальных маркетинговых мер (рис. 1).

В связи с этим инновации на транспорте должны иметь более высокий уровень устойчивости к неблагоприятной рыночной конъюнктуре. При этом для принятия инновационных решений и определения целевых показателей развития транспорта использование показателей, связанных с грузо- и пассажирооборотом (например, размер выручки или операционной прибыли) или рассчитываемых на их основе (например, производительность труда), оказываются непродуктивными: в реальности они могут существенно отличаться от расчётных по причинам, не зависящим от транспортной организации. По этим же причинам подобные показатели не должны при-

² OECD/Eurostat, Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264304604-en.pdf?expires=1604869291&id=id&accname=guest&checksum=B2ED06AD817A6F8922255CA9BF2A9D34>. Доступ 28.01.2021. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>.

³ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Валовой внутренний продукт, годовые данные (в текущих ценах). [Электронный ресурс]: [https://www.gks.ru/storage/mediabank/tab1\(2\).htm](https://www.gks.ru/storage/mediabank/tab1(2).htm). Доступ 20.01.2021.

⁴ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Грузооборот по видам транспорта по Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://www.gks.ru/folder/23455>. Доступ 20.01.2021.

⁵ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Информация о социально-экономическом положении России, 2019 год. [Электронный ресурс]: <https://gks.ru/storage/mediabank/oper-12-2019.pdf>. Доступ 20.01.2021.



ниматься во внимание при принятии решения о реализации инноваций в транспортных организациях. Тем не менее, такие показатели, как «производительность труда» и «темпы роста выручки» установлены в качестве целевых и планируются государством при разработке и реализации программ инновационного развития таких крупных транспортных российских организаций, как ПАО «Аэрофлот»⁶ и ОАО «РЖД»⁷.

Также особенностью сервисных отраслей, в целом, и транспорта, в частности, является их особая роль на рынке высоких технологий, где они должны выступать в роли потребителей или заказчиков, формируя спрос на инновации. При этом транспортные организации не должны самостоятельно разрабатывать транспортную технику нового поколения, поскольку являются не производителями, а эксплуатантами. В связи с этим инновационная активность транспортных организаций определяется технологическими возможностями производителей этой техники. Безусловно, транспортная компания может активно участвовать в подготовке технического задания, но при закупке новой техники она будет ограничена в выборе только теми решениями, которые представлены на рынке. И возможности её развития могут быть лимитированы технологической отсталостью поставщиков. Например, металлургическая промышленность может не обладать существующими новыми технологиями и производственными мощностями для выпуска прогрессивных сортов стали и продукции из неё. Вследствие этого модернизация пути может основываться только на тех материалах и компонентах верхнего строения пути, которые доступны на рынке, что приводит к снижению инновационного потенциала и организационно-технического уровня технологических процессов обеспечения перевозок.

С другой стороны, вследствие масштабности железнодорожной инфраструктуры и связанных с этим больших объёмов закупок же-

лезнодорожной техники, транспорт является одним из основных игроков на рынке инноваций, формируя спрос и тренды технологического развития промышленности, что на российском примере подтверждается данными инвестиционной программы ОАО «РЖД», которая в период с 2015 по 2019 годы составляла от 365,5 до 690,0 млрд руб.,⁸ или в среднем около 3 % всего бюджета Российской Федерации. Транспортные организации России ежегодно приобретают новую технику, не только стимулируя её производство, но и принимая активное участие в разработке и модернизации, что не характерно для транспортных организаций в других странах, где транспортные компании могут выбирать оборудование среди достаточно большого числа реально конкурирующих между собой поставщиков, стремящихся обойти друг друга по технологическим характеристикам новой техники. За рубежом транспортные компании и государство лишь определяют требования и технические регламенты эксплуатации новой техники (например, уровень шума, класс энергоэффективности, ширина железнодорожной колеи, длина взлётно-посадочной полосы и др.), а весь процесс НИОКР осуществляют компании – производители транспортной техники. Во многом это обусловлено закрытостью российского рынка транспортной техники, ориентацией производителей на внутренние потребности российских транспортных компаний, поскольку экспорт или экспансия новых игроков на рынок сопряжены со сложными процедурами сертификации продукции и производства, подтверждения квалификации и обладания компетенциями и технологиями, необходимыми для участия в электронных торгах, и многими другими ограничениями в данной области. Ограничения при выходе на внутренний российский рынок транспортной техники, с одной стороны, позволяют отсеять недобросовестных поставщиков, но, с другой стороны, препятствуют появлению инновационно активных игроков, разрабатывающих альтернативные конкурентоспособные и технологически перспективные решения. В итоге приток новых технологических решений на рынок транспортной техники существенно обедняется, а качество предложения снижается.

⁶ Паспорт Программы инновационного развития Группы Аэрофлот 2020. Авиакомпания «Аэрофлот» 2008–2021. [Электронный ресурс]: https://www.aeroflot.ru/media/aflfiles/media/strategy/pasport_programmy_innovatsionnogo_razvitiia.pdf. Доступ 23.01.2021.

⁷ Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года, утверждённая распоряжением Правительства РФ от 19.03.2019 г. № 466-р. КонсультантПлюс, 1997–2021. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320741/. Доступ 21.01.2021.

⁸ ОАО «РЖД». Инвестиционная деятельность. [Электронный ресурс]: https://old-ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=35. Доступ 21.01.2021.

Дополнительным фактором, влияющим на качество предлагаемой поставщиками транспортной техники, является отчуждение в пользу заказчика прав на объекты интеллектуальной собственности, возникающих при создании новой транспортной техники по заказу транспортной организации. Требование передачи всех прав на результат интеллектуальной деятельности (РИД) заказчику – транспортной организации – однозначно оказывается нелогичным и неэффективным со всех точек зрения: транспортные организации оплачивают стоимость создания РИД, увеличивая свои расходы на исследования и разработки и при этом не имея ни возможностей, ни намерения дальнейшей коммерциализации за пределами собственного бизнеса, поскольку не являются производителями железнодорожной техники. При этом организации, выполнившие НИОКР, в результате которых были созданы объекты интеллектуальной собственности (ОИС), теряют возможность применения ОИС в других разработках, что снижает заинтересованность разработчиков в высоком научно-техническом уровне получаемых результатов интеллектуальной деятельности⁹.

В то же время опыт зарубежных компаний показывает, что даже в условиях монополии или олигополии транспортных организаций разработанные технологии и образцы техники успешно могут продвигаться за пределами национальных рынков, а конкуренция на мировых рынках стимулирует разработчиков и производителей транспортной техники повышать уровень разработок, выводимых на рынок. Для сравнения Deutsche Bahn – крупнейший немецкий железнодорожный перевозчик – имеет на балансе всего несколько патентов: на логотипы и фирменное оформление, тогда как правами интеллектуальной собственности обладают их поставщики, в частности концерн Siemens AG, продвигающий свою транспортную технику не только в Германии, но и по всему миру.

Тем не менее в настоящее время принятие решений о реализации инноваций в крупных российских транспортных компаниях с государственным участием, согласно установленным требованиям, должно строиться с учётом

⁹ Стандарт СТО РЖД 08.014-2011 «Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Требования к закупкам инновационной продукции технического назначения [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293731/4293731375.pdf>. Доступ 21.01.2021.

того, сколько объектов интеллектуальной собственности будет принято на баланс – количество патентов и лицензий, которыми обладает транспортная организация, становится одним из ключевых показателей развития. В частности, отчётность по программам инновационного развития включает показатели полученных патентов.

Особенностью транспорта является сильное влияние регуляторов на основные и вспомогательные технологические процессы: от тарифного регулирования до требований к безопасности и экологическим показателям деятельности, что обуславливает высокую долю экономически неэффективных инноваций. Так, установленное российским законодателем требование о внесении паспортных данных в билеты и обязательная их проверка в процессе посадки–высадки пассажиров, привели к росту трудоёмкости оформления проездных документов и увеличили время, необходимое для обслуживания пассажиров на остановках. Это, с одной стороны, снизило индекс удовлетворённости клиентов, а с другой – привело к увеличению издержек в транспортных организациях. Тем не менее, данная экономически неэффективная инновация была внедрена практически по всем видам пассажирского транспорта дальнего следования. Реальным (отражающимся на финансово-экономических показателях транспортных организаций) экономическим эффектом инновации в области экологии и безопасности не характеризуются, но тем не менее они неизменно включаются в программы инновационного развития транспортных организаций^{10, 11, 12}.

Ещё одной особенностью транспорта является его неоднородность. В России транс-

¹⁰ Комплексная программа инновационного развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года, утверждённая советом директоров ОАО «РЖД» 26.02.2020. Единое окно инноваций. [Электронный ресурс]: <https://eoi.rzd.ru/front/media/1022/266-%D1%80-%D0%BE%D1%82-11022021.pdf>. Доступ 20.01.2021.

¹¹ Стратегия развития инновационной деятельности Федерального дорожного агентства на период 2016–2020 гг., утверждённая распоряжением Росавтодора от 28.03.2016 г. № 461-р. Счётная палата Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/67d/ap67p4spuhjz179h0jbnjtb66pvlptlc.pdf>. Доступ 21.01.2021.

¹² Паспорт Программы инновационного развития Группы Аэрофлот 2020. Авиакомпания «Аэрофлот» 2008–2021. [Электронный ресурс]: https://www.aeroflot.ru/media/aflfiles/media/strategy/pasport_programmy_innovatsionno_razvitiia.pdf. Доступ 23.01.2021.



портную систему образуют различные виды транспорта. При этом железнодорожный транспорт играет системообразующую роль в экономике страны: его доля в грузообороте в 2018 году достигала почти половину (46 %) грузооборот по всем видам транспорта и свыше 87 % – без учёта трубопроводов. Объём грузооборота железнодорожного транспорта в 2018 г. составил 2 598 млрд т•км¹³. Значимость железных дорог как основного компонента российской транспортной системы подчёркивается в Транспортной стратегии РФ до 2030 года: «Железнодорожный транспорт является в России одним из ключевых компонентов единой транспортной системы, он призван своевременно и качественно обеспечивать потребности для населения, бизнеса и государства в перевозках, способствовать созданию условий для развития экономики и обеспечения связности территорий и единого экономического пространства»¹⁴.

По прогнозам экспертов [7–10], железнодорожный транспорт в долгосрочной перспективе для России останется основным видом транспорта. Это обусловлено тем, что среди наземных видов транспорта именно рельсовый транспорт легче всего переводится в режим удалённого, а впоследствии – автоматического (беспилотного) управления, так как траектория движения поездов является линейной с ограниченным числом степеней свободы. Например, во многих международных аэропортах и в некоторых зарубежных системах метрополитена курсируют составы без машинистов [11], а управление движением осуществляется через единый удалённый диспетчерский пункт.

Кроме того, для ряда регионов страны (например, Западной Сибири) железные дороги остаются единственным средством сообщения в течение всего года вследствие заболоченной местности и неосвоенной территории.

В условиях формирования новой технологической парадигмы (Индустрии 4.0) железнодорожный транспорт характеризуется более высокой готовностью к интеграции новых интеллектуальных технологий управления,

¹³ Россия в цифрах. 2019: Крат. стат. сб. Росстат. Федеральная служба государственной статистики. – М., 2019. – С. 371. [Электронный ресурс]: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2019/rusfig/rus19.pdf. Доступ 25.01.2021.

¹⁴ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/41d4e8c21a5c70008ae9.pdf>. Доступ 20.01.2021.

являясь одним из наиболее готовых к автоматизации операционной деятельности и внедрению безлюдных технологий, что особенно ярко проявилось в условиях пандемии COVID-19. Объём перевозок в период карантинных мер в большинстве стран резко сократился, а на пике эпидемии падение объёмов пассажирских перевозок составило от 70 до 100 %¹⁵. Пандемия практически полностью парализовала авиационные перевозки по всему миру, оказались закрытыми крупнейшие международные аэропорты-хабы, обеспечивавшие связи между регионами и континентами.

В условиях пандемии железнодорожный транспорт оказался наиболее гибким и адаптируемым к новым реалиям. Было принято несколько стратегически важных решений по повышению безопасности на транспорте. Например, в пассажирских поездах дальнего следования можно обеспечить изолированный проезд пассажиров за счёт установки дополнительных фильтров в системе вентиляции купе, обеспечения посадки и высадки пассажиров на безопасном расстоянии при увеличении времени стоянки на промежуточных станциях, снижения заполняемости¹⁶ купе до одного пассажира или одной семьи при увеличении длины составов, что существенно дешевле по сравнению с переоборудованием салона самолёта, где должна быть произведена полная перепланировка салона с созданием автономных пассажирских мест.

В ряде случаев грузовой железнодорожный транспорт остаётся безальтернативным: так, например, транспортировка каменного угля и обеспечение его экспорта, например, из России в Китай возможны только по железной дороге, поскольку все другие виды транспорта неспособны обеспечить надёжные и относительно дешёвые перевозки в столь значительных объёмах. В условиях таяния вечной мерзлоты эксплуатация трубопроводов в За-

¹⁵ Отчёт Аналитического центра при Правительстве РФ. Противодействие влиянию пандемии COVID-19 на железнодорожный транспорт в мире // Железные дороги России. Рабочие отчёты. – Вып. 24. – С. 5. [Электронный ресурс]: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/RZD_june2020.pdf. Доступ 23.01.2021.

¹⁶ Нормативные документы по вопросам противодействия распространению коронавирусной инфекции в Российской Федерации: электронный оперативный сборник (по состоянию на 25 июня 2020 г.) в 3 частях. – М.: НМИЦ ФПИ, 2020. – Ч. 1. [Электронный ресурс]: https://edu.rosminzdrav.ru/fileadmin/user_upload/specialists/COVID-19/dop-materials/250620/Sbornik_CH.2_25_junja.pdf. Доступ 30.01.2021.

полярье становится ненадёжной и несёт в себе риски экологических катастроф, аналогичных катастрофическому разливу дизельного топлива в 2020 году в Заполярье. Перевозки добытых углеводородов в железнодорожных цистернах, с одной стороны, позволяют контролировать состояние пути и подвижного состава, а, с другой стороны, позволяют снизить вероятности разлива и локализовать возможные утечки.

Однако в настоящее время сформировался и укрепляется тренд развития транспорта как мультимодальной системы, что стало результатом развития информационно-коммуникационных технологий, позволяющих объединить управление различными видами транспорта на единой технологической платформе. Первоначально мультимодальные перевозки возникли в транснациональных компаниях – глобальных операторах транспортных услуг по перевозке грузов – на базе интеграции (слияний и поглощений) компаний (например, Maersk Seeland), относящихся к различным видам транспорта. Однако в настоящее время всё более широкое распространение получают альянсы и партнёрства различных транспортных компаний, появляются независимые логистические операторы, которые формируют мультимодальные транспортные цепочки. Также в настоящее время мультимодальные перевозки получают всё более широкое развитие на внутреннем национальном или региональном уровне – в первую очередь, в сегменте пассажирских перевозок [10].

Переход от мультиагентной модели перевозок, при которой грузоотправитель или грузополучатель вынуждены были оформлять несколько договоров с перевозчиками, относящимися к разным видам транспорта, к мультимодальным перевозкам – оказанию услуг по транспортировке грузов на основе единого договора не менее чем двумя различными видами транспорта под управлением единого перевозчика как модели мультимодальной транспортной сети и её элементов подтверждается отечественными исследованиями [11; 12]. При принятии решения о введении мультимодальных грузоперевозок, как правило, ориентируются на стоимостные показатели или время доставки грузов или пассажиров. Кроме того, необходимо учитывать общее время в пути, риски утраты грузов различными видами транспорта, затраты на заключение договоров, налоги и др.

В сфере пассажирского транспорта мультимодальные перевозки нередко обусловлены социальными причинами. Например, иницированные компанией-перевозчиком ОАО «РЖД» мультимодальные пассажирские перевозки в смешанном сообщении «пригородный поезд–автобус» позволяют снизить издержки на малоэффективных маршрутах при сохранении транспортной мобильности населения, а также разгрузить автомагистрали на выездах из крупных населённых пунктов и мегаполисов.

В области развития грузовых мультимодальных перевозок также доминируют железные дороги, способные обеспечивать перевозку в больших объёмах с минимальными издержками и обладающие готовыми пунктами для сортировки и перевалки грузов, в том числе и для дальнейших перевозок другими видами транспорта. Поэтому, как правило, именно железные дороги становятся инициаторами мультимодальных перевозок.

Одним из примеров, демонстрирующих лидирующую роль железнодорожного транспорта в развитии мультимодальных грузовых и пассажирских перевозок, стала организация контрейлерных перевозок с участием ОАО «РЖД» на маршруте «Екатеринбург–Москва»: в феврале 2020 года началось серийное производство и вывод на линию новой контрейлерной платформы¹⁷, позволяющей минимизировать временные параметры погрузочно-разгрузочных работ и организовать бесшовную отправку и доставку грузов клиентам, расположенным вдали от железнодорожных путей.

Тем не менее, развитие мультимодальных перевозок требует модернизации инфраструктуры транспорта. Расширение объёмов смешанных перевозок приводит к необходимости создания хабов – крупных логистических комплексов, обеспечивающих бесшовную стыковку различных видов транспорта в пределах оптимального маршрута следования. И первая же задача в этой области сталкивается с необходимостью определения оптимального места размещения мультимодального транспортного узла, его пропускной способности, технологического оснащения и др.

При этом необходимо иметь в виду, что принятие решений в данной области базиру-

¹⁷ Контрейлер для тяжеловеса // Гудок. – Вып. № 32 (26881) 25.02.2020. [Электронный ресурс]: [https://www.gudok.ru/newspaper/? ID=1494810&archive=2020.02.25](https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1494810&archive=2020.02.25). Доступ 29.01.2021.



ется на прогнозных данных о грузо- и пассажиропотоках на много лет вперед, что не гарантирует ни точности, ни даже минимальной адекватности результатов прогнозирования. В стратегической перспективе в последнее время всё чаще говорят о «стратегических неожиданностях» («чёрных лебедях» [13]), которые не учитывает ни один прогноз.

Дополнительную сложность при принятии решений о развитии инфраструктуры и строительстве хабов, а также при их проектировании вызывает смена технологической парадигмы, которая не только меняет структуру технологий и оборудования, но и существенно видоизменяет транспортные потоки. Так, согласно одному из прогнозов [14], развитие аддитивных технологий и полная автоматизация производства приведут к тому, что вместо производства и последующей транспортировки к месту потребления технологичных продуктов в условиях появления заводов-автоматов будет передаваться только информация о технологическом процессе изготовления «на месте» и «из местных ресурсов», то есть ранее существовавшая потребность в перевозках исчезнет или, по крайней мере, сократится. В этих условиях проложенная новая железнодорожная магистраль или дорогостоящий и высокопроизводительный хаб могут оказаться невостребованными, а затраты на их создание – нерациональными.

Сохранение и усиление роли транспорта в экономике требует значительного повышения инновационной активности, направленной, в первую очередь, на модернизацию и существенное обновление транспортных средств и объектов инфраструктуры. Однако, в соответствии с моделью ТАМО Ф. Янсена [15], успех инноваций достигается только при комплексном, сбалансированном подходе, учитывающем все аспекты деятельности организации, поэтому наряду с технологическими процессными инновациями в соответствии с Руководством Осло 2018 в транспортных организациях не меньшее значение имеют организационные, маркетинговые, технологические продуктовые инновации и инновации в бизнес-процессах, а при проектировании технологических изменений необходимо вносить изменения по всей цепочке инновационной активности.

Принятие решений о развитии транспорта в настоящее время основывается преимущественно на экономических оценках, в основе

которых лежит сопоставление ожидаемых эффектов и затрат на модернизацию и реконструкцию как транспортной техники, так и транспортной инфраструктуры. Выше уже было показано, что, как правило, прогнозы транспортных перевозок, которые нередко представляют собой экстраполяцию текущей ситуации в будущее, в определённых ситуациях оказываются некорректными, а, следовательно, некорректным оказывается результат сугубо экономических оценок. Кроме того, в недостаточной степени учитываются описанные выше особенности транспорта как капиталоемкой сервисной отрасли экономики с длительными сроками эксплуатации основных средств. С экономической точки зрения, износ этих средств отражается в амортизации, однако моральный износ техники остаётся в настоящее время за пределами экономических оценок и обоснований. Вместе с тем условия ускорения технологического процесса, смена технологической парадигмы требуют учёта морального старения при принятии решений о развитии транспортной инфраструктуры, а его игнорирование неизбежно приводит к ошибкам и потерям. В связи с этим необходимо изменение подхода к принятию стратегических решений о развитии транспорта, дополняющего экономические оценки учётом технологических трендов как в области транспортной техники, так и в целом по рынку транспортных услуг.

ВЫВОДЫ

При принятии решений о реализации инноваций на транспорте необходимо использовать альтернативный подход к существующим методологиям, базирующимся преимущественно на экономических традиционных моделях.

Предпосылками для этого являются перечисляемые ниже и ранее обоснованные положения.

При принятии решений о технологическом развитии транспорта следует ориентироваться на внеэкономические факторы, к которым в первую очередь относится необходимость обеспечения устойчивого развития страны и национальной безопасности в широком смысле.

Принимаемые решения в области технологического развития не всегда обосновываются рыночными потребностями, но в то же время для транспорта как сервисной отрасли клиен-

тоориентированность становится одним из важнейших факторов конкурентоспособности, то есть возникает коллизия, требующая своего разрешения в методологии принятия решений.

При принятии решений необходимо учитывать неоднородность транспорта как по видам, так и по используемым технологическим компонентам (транспортные средства, инфраструктура и др.), однако при этом всё более широкое распространение приобретают мультимодальные перевозки, процессы цифровизации и цифровой трансформации, а также глобальные природные, экономические, социально-демографические и политические процессы, что порождает большое число вариантов реализации транспортно-логистических услуг и увеличивает уровень неопределённости при принятии решений.

Развитие транспортного комплекса характеризуется высокой капиталоемкостью и длительными сроками эксплуатации, что, с одной стороны, приводит к росту цены ошибки при принятии решений и одновременно, с другой, повышает неопределённость при прогнозировании функционирования отрасли в целом и отдельных транспортных организаций в частности.

Исходя из этих предпосылок становится очевидной необходимость разработки альтернативного подхода к обоснованию решений о реализации инноваций на транспорте, базирующегося на методах многокритериальной параметрической оптимизации с учётом внешнеэкономических критериев и показателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Краев В. М., Ляпина С. Ю., Федотова М. А. Модель связанности территорий авиационным транспортом // Мир транспорта. – 2018. – № 5. – С. 180–191. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1528>. Доступ 29.01.2021.
2. Слак Н., Чеймберс С., Джонстон Р. Организация, планирование и проектирование производства. Операционный менеджмент. – М.: Инфра-М, 2018. – 816 с. ISBN 978-5-16-003585-7.
3. Ляпина С. Ю., Дегтярева В. В. Проблемы формирования механизма управления воспроизводством инноваций в организациях: Монография. – М.: Спутник+, 2012. – 150 с. ISBN 978-5-9973-2130-7.
4. Федоров Е. А., Левин С. Б., Султанов Э. Ш. Контейнерный Шёлковый путь: оптимизация транзитного

коридора // Мир транспорта. – 2018. – № 2. – С. 166–177. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/viewFile/1444/1720>. Доступ 29.01.2021.

5. Зойдов К. Х., Медков А. А. К актуальным проблемам реализации проектов евразийских скоростных перевозок грузов // Проблемы рыночной экономики. – 2019. – № 3. – С. 54–64. [Электронный ресурс]: http://www.ipr-ras.ru/old_site/articles/2019-03-54-64-zoidov.pdf. Доступ 29.01.2021.

6. Ткаченко Т. В. Долгосрочный прогноз развития железнодорожного транспорта общего пользования в России (на период до 2030 года) // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2009. – Т. 7. – С. 268–295. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/dolgosrochnyy-prognoz-razvitiya-zheleznodorozhnogo-transporta-obshchego-polzovaniya-v-rossii-na-period-do-2030-goda/pdf>. Доступ 29.01.2021.

7. Борискина Ю. И., Костина О. И. Развитие железнодорожного транспорта и его роль в экономике России // Актуальные вопросы экономики региона: анализ, диагностика и прогнозирование: Материалы VI Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 06 апреля 2016 года. – Нижний Новгород: Стимул-СТ, 2016. – С. 171–174. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26208230>. Доступ 29.01.2021.

8. Египко М. А. Анализ развития транспортной системы Российской Федерации // Транспортное дело России. – 2017. – № 3. – С. 73–75. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29852144>. Доступ 29.01.2021.

9. Смирнова В. В., Правкин С. А. Проблемы нормативно-правового обеспечения автономного (беспилотного) железнодорожного транспорта // Транспортное право и безопасность. – 2020. – № 1 (33). – С. 142–149. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42975878>. Доступ 29.01.2021.

10. Малахова Т. А., Кукушкина Я. В. Перспективы развития мультимодальных перевозок в дальнем пассажирском сообщении // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 16–24. [Электронный ресурс]: <https://transysst.ru/transysst/issue/download/712/101>. Доступ 29.01.2021.

11. Гончарук С. М., Лебедева Н. А. Особенности и методология проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. – 239 с.

12. Лебедева Н. А. Формирование области эффективных альтернатив изменения облика и мощности мультимодальных транспортных узлов на основе системного подхода / Дис... канд. техн. наук. – Хабаровск, ДВГУПС, 2009. – 193 с.

13. Taleb, Nassim Nicholas. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. New York, Random House, 2007, 401 p.

14. Барвинок В. А., Смелов В. Г., Кокарева В. В., Малыхин А. Н. Построение «умного» производства на базе аддитивных технологий // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2014. – № 4. – С. 142–149. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22704961>. Доступ 29.01.2021.

15. Янсен Ф. Эпоха инноваций: Пер. с англ. – М.: Инфра-М, 2002. – 308 с. ●

Информация об авторах:

Кошчева Екатерина Олеговна – старший преподаватель Российского университета транспорта, Москва, Россия, kate1994@list.ru.

Ляпина Светлана Юрьевна – доктор экономических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, syl2002@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.04.2021, одобрена после рецензирования 05.07.2021, принята к публикации 10.09.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.225.022:338.47
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-19-4-11>

Оценка драйверов и сдерживающих факторов развития высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок



Максим ЖЕЛЕЗНОВ



Олег КАРАСЕВ



Дмитрий РАКОВ



Егор ШИТОВ

*Максим Максимович Железнов¹, Олег Игоревич Карасев²,
Дмитрий Александрович Раков³, Егор Александрович Шитов⁴*

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

^{2, 3, 4} Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

✉ M.Zheleznov@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Одной из явных тенденций развития транспортной отрасли является сокращение времени в пути, чему соответствует устремлённость ведущих транспортных компаний на создание условий для ускорения движения транспортных средств.

Целью данной статьи является анализ перспектив и драйверов развития высокоскоростных железнодорожных перевозок в качестве одного из приоритетных сегментов транспортной отрасли, характеризующегося лучшими показателями по безопасности и экологичности по сравнению с другими категориями транспорта.

Предлагается обзор основных параметров, характеризующих развитие ВСМ в мире.

Среди драйверов, обуславливающих развитие ВСМ и носящих универсальный характер, выделены экологичность, стимулирование трудовой и иной мобильности населения, инновационного технологического развития

железнодорожного транспорта, сопряжённых отраслей экономики.

Среди факторов, сдерживающих развитие ВСМ, рассмотрены барьеры, связанные с большим объёмом инвестиций, длительными сроками их окупаемости, необходимостью реализации дополнительных проектов по развитию сопряжённой с ВСМ транспортной инфраструктуры для получения более ощутимого экономического и социального эффекта, необходимостью обеспечения уже на начальном или последующих этапах эксплуатации достаточного пассажиропотока.

Отмечается что факторы, их параметры, оценка их приоритетности при принятии решений о строительстве или развитии ВСМ обуславливаются реализуемыми в каждой стране стратегиями развития транспорта, складывающейся экономической конъюнктурой и совокупностью целого ряда иных факторов.

Ключевые слова: железнодорожная отрасль, ВСМ, скоростные перевозки, высокоскоростной подвижной состав.

Для цитирования: Железнов М. М., Карасев О. И., Раков Д. А., Шитов Е. А. Оценка драйверов и сдерживающих факторов развития высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 102–109. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-11>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Рост мобильности мирового населения оказывает значительное влияние на развитие транспортной сети, формируя такие вызовы, как увеличение скорости передвижения и повышение комфорта. Подобные тенденции наблюдаются, в том числе на железнодорожном транспорте: в течение периода 2010–2019 гг. его пассажирооборот увеличился на 927,1 млрд пасс.-км (28,8 %) [1].

Увеличение мобильности населения определяет потребность в модернизации существующих транспортных систем, что подразумевает внедрение передовых разработок и технологий, совершенствование инфраструктурных объектов, интеграцию различных систем для получения синергетического эффекта (развитие мультимодальных перевозок) [2]. Развитие и укрупнение городских агломераций, повсеместная урбанизация – указанные тенденции способствуют увеличению потребностей в развитии транспортной системы.

Железнодорожная отрасль, в свою очередь, является одним из системообразующих звеньев всей транспортной отрасли, обеспечивающим необходимые и достаточные условия для функционирования городских агломераций. Одним из приоритетных трендов развития железнодорожной транспортной сети в условиях увеличения миграционных потоков является развитие высокоскоростных железнодорожных пассажирских перевозок.

В соответствии с определением Международного союза железных дорог, высокоскоростная железнодорожная магистраль (далее – ВСМ) характеризует собой совокупность различных элементов, необходимых для её функционирования. Наиболее критичными, с точки зрения функционирования ВСМ, элементами [3] данной системы являются:

- инфраструктура (выделяется два типа инфраструктуры):

- а) новые специализированные выделенные линии, предназначенные для скоростей свыше 250 км/ч;

- б) существующие линии, модернизированные в целях достижения скорости до 200 или 220 км/ч):

- специализированный подвижной состав;

- системы телекоммуникации;

- оборудование и т.д.

В Российской Федерации на практике под ВСМ традиционно понимают специализированную выделенную железнодорожную линию, обеспечивающую движение поездов со скоростью выше 250 км/ч. Предоставление услуг пассажирских железнодорожных перевозок со скоростью от 160 до 220 (250) км/ч соответствует скоростному движению. Широкое распространение также получил смешанный тип движения: высокоскоростные поезда эксплуатируются на линиях, предназначенных для традиционных составов.

Смешанный тип движения поездов имеет преимущества, связанные с отсутствием необходимости полной реформации железной дороги либо строительства новых путей. Однако эксплуатация поездов с различающимися характеристиками и техническими требованиями на одних железнодорожных путях приводит к дополнительным издержкам, обусловленным необходимостью постоянного технического обслуживания и ремонта [4], а также пробелами в расписании движения, связанными с перекрытием путей для традиционных поездов на время движения высокоскоростных [5].

Развитие ВСМ в Российской Федерации и в мире определяется различными факторами. *Целью* данной статьи является анализ перспектив и драйверов развития высокоскоростных железнодорожных перевозок в качестве одного из приоритетных сегментов транспортной отрасли, характеризующегося лучшими показателями по безопасности и экологичности по сравнению с другими категориями транспорта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Драйверы развития

Повышение экологических требований к транспорту

Ужесточение экологических требований к уровню выбросов CO₂ способствует развитию железнодорожной отрасли в целом: железнодорожные перевозки характеризуются меньшей нагрузкой на окружающую среду по сравнению с авиацией, водным транспортом и автомобилями.

Согласно информации Международного союза железных дорог [6] преимущества железнодорожных перевозок и, в частности,



ВСМ определяются следующими факторами:

- землеотвод под ВСМ в 2–3 раза меньше площадей автомагистралей;
- выбросы диоксида углерода на пассажиро-километр на железных дорогах в четыре раза меньше, чем у воздушного транспорта, и в 3,5 раза меньше, чем у автомобилей;
- энергозатраты подвижного состава на одного пассажира в четыре раза меньше, чем у автомобилей, и в восемь – чем у воздушных судов.

Экологическое превосходство железнодорожного транспорта стимулирует не только общее его развитие, но и способствует ускорению внедрения ВСМ в экологически ответственных странах.

Применение новейших технологий

Внедрение «сквозных» цифровых технологий позволяет использовать как передовые разработки в области производства специализированных поездов, так и развивать инфраструктурные объекты, например, применять системы цифрового имитационного моделирования [7], оптимизирующие процессы движения подвижного состава посредством алгоритмов обработки больших данных, и интеллектуальные системы, функционирующие по принципам промышленного интернета, в процессах мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры [8; 9].

Развитие городских агломераций

Увеличение территорий городской застройки позволяет обеспечить условия перехода от роста плотности застройки к развитию пригородных зон и формированию городских агломераций. Подобная динамика развития городов требует модернизации транспортной сети, включая совершенствование пригородного сообщения и его связи с городским транспортом. Напротив, существующие проблемы связанности территорий, решение которых выделяется в качестве приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации [10], негативно сказываются на условиях развития человеческого капитала и формировании экономических инновационных кластеров.

Развитие ВСМ и скорости сообщения между городами формирует определённый

запас прочности по дальнейшему развитию границ городских территорий, обеспечивая комфортное межгородское сообщение и выступая в качестве локомотива развития мультимодальных перевозок.

Развитие несырьевой экономики

Глобальная цифровизация всех отраслей экономики не только способствует развитию новых технологий, но и формирует условия для их применения. В частности, развитие туризма и сферы услуг, а также расширение городских агломераций создают спрос на улучшенные виды транспорта, характеризующиеся в том числе большей скоростью. Развитие «сквозных» цифровых технологий, таких как большие данные, искусственный интеллект и робототехника, способствует производству и обслуживанию новейших транспортных систем и обеспечению достойного уровня клиентского сервиса.

Развитие несырьевой экономики, стимулирующей конкуренцию на рынке труда и перераспределение человеческих ресурсов между различными секторами экономики, выступает в роли передаточного механизма, оказывающего непосредственное влияние на значительное увеличение объёма маятниковых миграций и развитие городских агломераций.

Сдерживающие факторы

Несмотря на наличие существенных драйверов, в силу различных социально-экономических и технологических причин массовое строительство и развитие ВСМ осложняется наличием ряда барьеров.

Длительные сроки окупаемости

Реализация инфраструктурных проектов по развитию ВСМ сопряжена с высокими инвестиционными и капитальными затратами, связанными, в том числе с высокой стоимостью разработки и внедрения инноваций, а также необходимостью вложения значительных денежных средств в строительство новой инфраструктуры либо трансформацию существующей. Подобные проекты могут осуществляться в течение 5–10 лет, что предполагает наличие различных форс-мажорных обстоятельств. Например, может возникнуть необходимость внедрения ранее не запланированных реше-

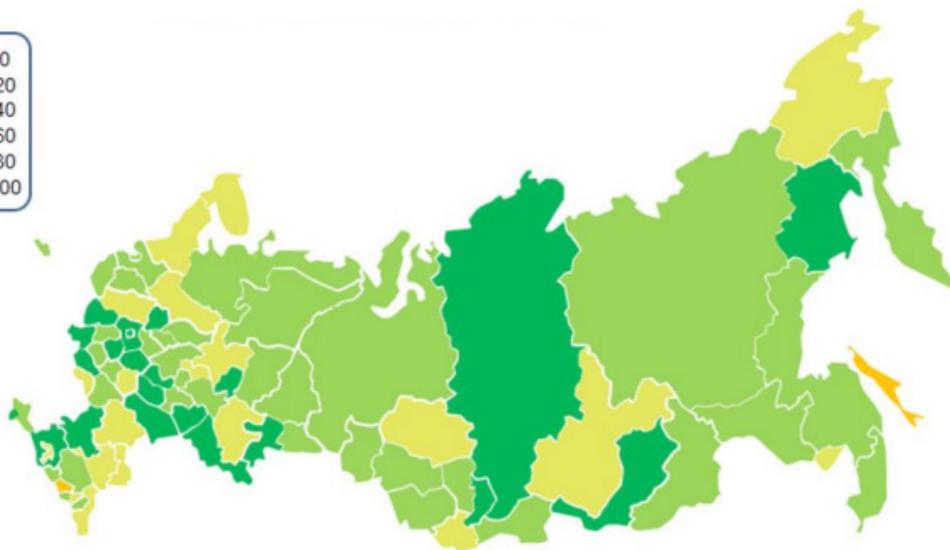
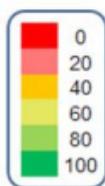


Рис. 1. Индекс экономической активности в субъектах РФ в июне 2021 г. Источник: Институт «Центр развития» НИУ ВШЭ: официальный сайт. [Электронный ресурс]: https://www.hse.ru/data/2021/08/16/1410149399/ci_rea_2021-06.pdf. Доступ 15.08.2021.

ний в связи с улучшением технологических характеристик, появлением принципиально новых технологий/решений или ужесточением технических требований.

Данные обстоятельства негативно сказываются на увеличении сметы и требуемых инвестиций, что, в свою очередь, определяет высокий уровень стоимости использования услуг высокоскоростных железнодорожных перевозок для конечных потребителей. Окупаемость подобных инфраструктурных проектов зависит напрямую от спроса, определяемого как уровнем платёжеспособности населения, так и наличием значительных экономических связей между городами или регионами. Напротив, в условиях стагнации экономики, уменьшения количества деловых связей и уменьшения реальных доходов населения данный барьер оказывает значимое влияние на перспективы развития ВСМ.

Недостаточный пассажирооборот

Увеличение миграционных потоков, стимулирующее развитие ВСМ, характеризуется относительным воздействием, поскольку текущий уровень пассажирооборота зачастую не является достаточным с точки зрения инвестиционной окупаемости проектов по строительству ВСМ.

В Российской Федерации данная ситуация обостряется наличием относительно слабых экономических связей между регио-

нами, особенно лежащими за пределами центрального федерального округа. Экономическая активность в субъектах Российской Федерации распределена крайне неравномерно (рис. 1).

Сложность интеграции в сформированные транспортные структуры

Строительство ВСМ сопряжено с различными трудностями в области определения оптимальных маршрутов, позволяющих достигать на пути следования поездов высоких скоростей, а также в области интеграции новых выделенных линий в устоявшуюся транспортную экосистему городских агломераций, их увязки с существующими транспортными развязками и вокзалами.

Тем не менее, воздействие вышеуказанных барьеров не является критическим, что подтверждается наличием существующих и планируемых проектов, связанных со строительством ВСМ. Строительство ВСМ позволяет достичь таких социально-экономических эффектов, как развитие городских агломераций, разгрузка существующих транспортных систем, стимулирование экономической активности регионов и туризма, равномерное региональное развитие отраслей экономики. Предполагается, что наибольшая степень привлекательности высокоскоростных железнодорожных перевозок будет наблюдаться на маршрутах





Рис. 2. Страны-лидеры по величине пассажиропотока ВСМ по итогам 2019 г. Источник: Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/statistics>. Доступ 10.08.2021.

протяжённостью до 700–800 км. Сами перевозки являются безопасными и экологичными [11].

Потребность в строительстве и развитии ВСМ в рамках национальной транспортной системы России обуславливается достижением ряда социально-экономических выгод, включая:

- повышение мобильности всех групп населения;
- увеличение туристических потоков внутри страны;
- обеспечение комплексного синергетического взаимодействия различных видов транспорта в сфере пассажирских перевозок.

Сегодня Российская Федерация демонстрирует отставание от зарубежных партнёров в области развития высокоскоростных железнодорожных перевозок. В соответствии с данными Международного союза железных дорог ведущими странами в раз-

резе развития ВСМ по величине совокупного пассажиропотока по ВСМ являются Китай, Япония, Франция, Германия, Южная Корея, Италия и Испания (рис. 2).

Китай является абсолютным лидером, обладающим наибольшей протяжённостью ВСМ в мире: по состоянию на конец 2020 г. совокупная протяжённость ВСМ в Китае составила более 38 200 км [12], что составляет более 2/3 от совокупной протяжённости ВСМ в мире. Инвестиции Китая в развитие высокоскоростных железнодорожных проектов составили более 110 млрд долл. США. На рис. 3 представлено сопоставление инвестиций ряда ведущих стран в области развития ВСМ по итогам 2018 г.

Китай, Франция и Германия активно вовлечены в процесс расширения национальных ВСМ, даже несмотря на существующие развитые сети маршрутов. Деятельность в сфере транспорта во Франции и Германии



Рис. 3. Страновой анализ инвестиций в строительство ВСМ по итогам 2018 года, млрд долл. США. Источник: Информационное агентство РЖД-Партнёр: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/kitay-narashchivaet-investitsii-v-zheleznye-dorogi/>. Доступ 03.04.2019.

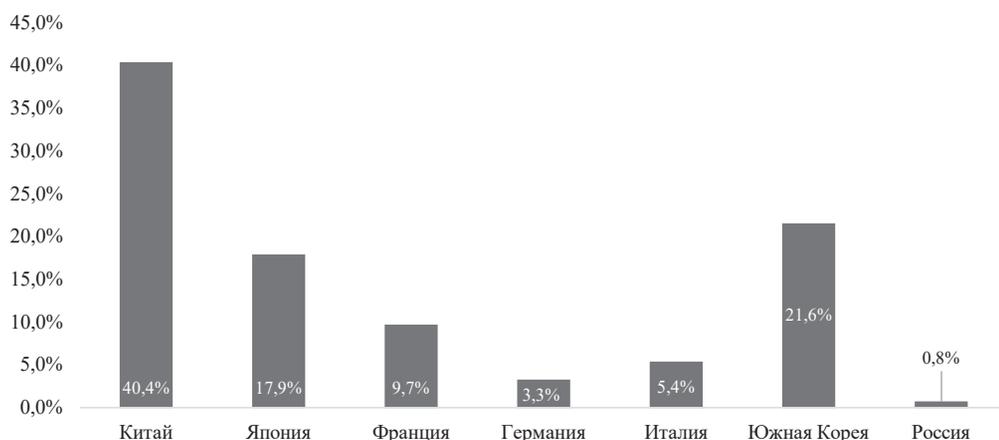


Рис. 4. Доля ВСМ в совокупной длине железнодорожных сетей по странам. Источник: Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic-stats.uic.org/>. Доступ 10.08.2021.

Таблица 1

Некоторые маршруты высокоскоростных железнодорожных перевозок в отдельных странах

Страна	Маршруты
China Railway (Китай)	Пекин–Шанхай, Ухань–Чанша–Гуанчжоу, Шанхай–Ханчжоу, Шанхай–Нанкин, Пекин–Тяньцзинь, Чженчжоу–Сиань, Нинбо–Тайчжоу–Вэньчжоу, Вэньчжоу–Фучжоу, Шицзячжуан–Тайюань, Фучжоу–Сямэнь, Шицзячжуан–Тайюань, Фучжоу–Сямэнь, Наньчан–Цзюцзян, Хэфэй–Ухань, Циндао–Цзинань, Хэфэй–Нанкин, Чэнду–Ганксиан, Чанчунь–Цзилинь, Хайкоу–Санья, Гуанчжоу–Чжухай, Гуанчжоу–Синьхуэй
Renfe Operadora (Испания)	Мадрид–Севилья–Малага, Мадрид–Барселона
Japan Railways (Япония)	Шин Осака–Хаката, Токио–Ниигата, Токио–Шин Осака, Токио–Каназава, Токио–Шин Аомори–Шин Хакодате
SNCF (Франция)	Ренн–Париж, Кале–Париж, Страсбург–Париж, Авиньон–Лион–Париж, Бордо–Тур–Париж
Deutsche Bahn (Германия)	Франкфурт–Гамбург, Франкфурт–Мюнхен, Франкфурт–Кельн, Франкфурт–Штутгарт, Гамбург–Мюнхен, Берлин–Гамбург, Берлин–Франкфурт, Берлин–Мюнхен, Кельн–Берлин, Франкфурт–Ахен, Франкфурт–Брюссель, Гамбург–Копенгаген, Кельн–Брюссель, Франкфурт–Париж, Франкфурт–Базель, Франкфурт–Амстердам, Нюрнберг–Вена
FS Italiane (Италия)	Неаполь–Бари, Палермо–Катания–Мессина, Турин–Милан–Реджо-Эмилия–Болонья–Флоренция–Рим–Неаполь–Салерно, Венеция–Падуа–Болонья–Флоренция–Рим–Неаполь–Салерно, Удине–Венеция–Падуа–Виченца–Верона–Брешиа–Милан–Турин
Korail (Южная Корея)	Сеул–Тэгу, Тэгу–Пусан, Осонг (Чхонджу)–Кванджу, Сусео (Сеул)–Пхэнтхэк, Сеул–Каннын

Источники: МСЖД и официальные годовые отчёты представленных железнодорожных компаний.

ориентирована на современную политику Европейского союза по созданию единой общеевропейской транспортной сети TEN-T, включающей в себя автомобильные и железные дороги, внутренние водные и воздушные пути [13].

Лидерство Китая также наблюдается по доле ВСМ в совокупной эксплуатационной длине железнодорожной сети – 40,4 % (рис. 4).

Высокая доля ВСМ в эксплуатационной длине железнодорожной сети в Китае нахо-

дит своё отражение в широкой сети маршрутов высокоскоростных пассажирских железнодорожных перевозок. Лидерами по количеству маршрутов являются Китай, Южная Корея и Германия (табл. 1).

Несмотря на абсолютное лидерство Китая по совокупному пассажиропотоку на высокоскоростных пассажирских перевозках, наибольшая доля ВСМ в совокупном пассажирообороте по итогам 2019 г. наблюдалась в Южной Корее и Франции (рис. 5).



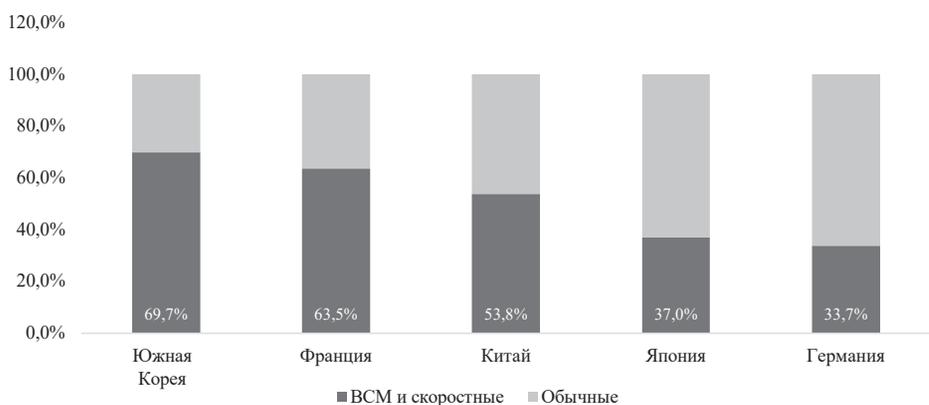


Рис. 5. Распределение стран по доле ВСМ в совокупном пассажирообороте по итогам 2019 г., %. Источник: Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic-stats.uic.org/>. Доступ 12.08.2021.

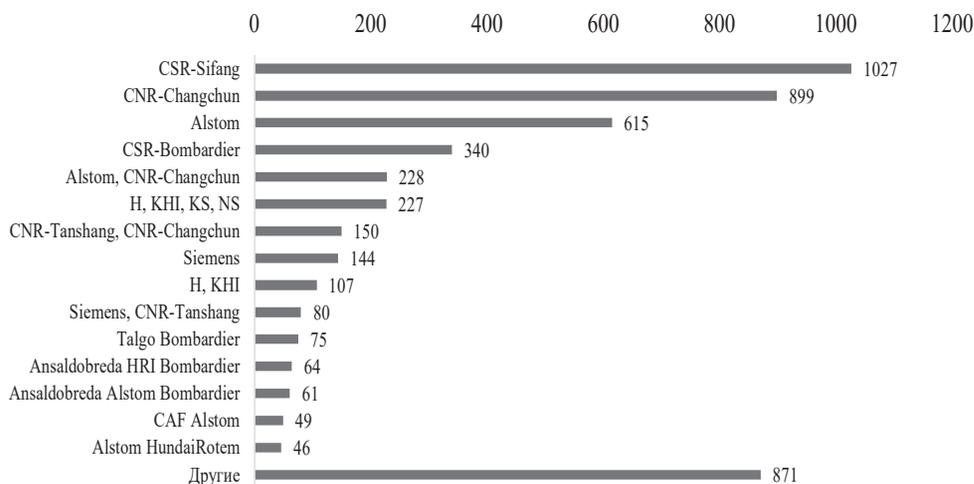


Рис. 6. Рейтинг производителей высокоскоростных подвижных составов. Источник: Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/202100801_high_speed_rolling_stock.pdf. Доступ 12.08.2021.

Ускоренные темпы развития ВСМ в Китае чётко прослеживаются благодаря текущим инвестиционным проектам, а также явному простору для увеличения доли пассажирооборота ВСМ в совокупном пассажирообороте. Преобладание Китая в области развития ВСМ также наблюдается и в рамках производства специализированных поездов (рис. 6).

Одной из наиболее распространённых моделей высокоскоростных поездов является CSR-Sifang. Среди других широко используемых типов подвижного состава – модели CNR-Changchun, а также Alstom и Bombardier.

Превалирование китайских производителей объясняется повышенным спросом, связанным с текущими и будущими проектами Китая по внедрению ВСМ. Франция также планирует увеличивать количество высокоскоростных пассажирских маршрутов, концентрируясь на децентрализации Парижа в национальной сети ВСМ и повышении доли региональных путей сообщения.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Развитие ВСМ обуславливает наличие ряда драйверов, носящих универсальный характер. Это экологичность, стимулирование трудовой и иной мобильности населения.

ния, инновационного технологического развития железнодорожного транспорта, сопряжённых отраслей экономики.

Сдерживающие факторы, барьеры на пути развития ВСМ связаны с большим объёмом инвестиций, длительными сроками их окупаемости, необходимостью реализации дополнительных проектов по развитию сопряжённой с ВСМ транспортной инфраструктуры для получения более ощутимого экономического и социального эффекта, необходимостью обеспечения уже на начальном или последующих этапах эксплуатации достаточного пассажиропотока. Эти факторы, их параметры, оценка их приоритетности при принятии решений о строительстве или развитии ВСМ обуславливаются реализуемыми в каждой стране стратегиями развития транспорта, складывающейся экономической конъюнктурой и совокупностью целого ряда иных факторов.

В Российской Федерации необходимость развития ВСМ оценивается как достаточно высокая, обсуждаются различные планы развития ВСМ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Раздел статистики // Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/statistics>. Доступ 10.08.2021.

2. Железнов М. М. Развитие и внедрение инновационных технологий в информационно-технологическую систему технического обслуживания железнодорожного пути // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – № 6. – С. 1–5. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18261667>. Доступ 12.08.2021.

3. Высокоскоростные перевозки // Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/highspeed/#What-is-High-speed-rail>. Доступ 05.07.2019.

4. Железнов М. М. О концепции информационно-технологического совершенствования системы ведения путевого хозяйства на основе инновационных технологий, в том числе спутниковых // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 5. – С. 1–7.

5. Агафонов Д. В. Анализ целесообразности отделения железнодорожной инфраструктуры высокоскоростных магистралей в Российской Федерации // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9. – № 1 (38). [Электронный ресурс]: <https://naukovedenie.ru/PDF/20EVN117.pdf>. Доступ 15.08.2021.

6. Раздел «Высокоскоростные магистрали» // Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/passenger/highspeed/>. Доступ 10.08.2021.

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

8. Железнов М. М., Пономарёв В. М. Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций // Мир транспорта. – 2017. – № 4. – С. 214–227. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1263/1539>. Доступ 08.08.2021.

9. Розенберг И. Н., Лупян Е. А., Железнов М. М., Василейский А. С. Возможности использования спутниковых технологий для мониторинга железнодорожной инфраструктуры // Ренессанс железных дорог. Фундаментальные научные исследования и прорывные инновации: Коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – М.: Аналитика Родис, 2015. – С. 97–112.

10. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 01 декабря 2016 г. № 642). [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449>. Доступ 08.08.2021.

11. Круглый стол по экологии: «Подходы к проектированию ВСМ Москва–Казань необходимо тиражировать» // АО «Скоростные магистрали»: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/861.html>. Доступ 12.08.2021.

12. Атлас «Высокоскоростные магистрали» 2021 // Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/IMG/pdf/uic-atlas-high-speed-2021.pdf>. Доступ 10.08.2021.

13. Страны-лидеры по величине пассажиропотока ВСМ по итогам 2019 г. Источник: Международный союз железных дорог: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <https://uic.org/IMG/pdf/uic-atlas-high-speed-2021.pdf>. Доступ 13.08.2021.

14. Networks for peace and development. Extension of the major trans-European transport axes to the neighbouring countries and regions. European Commission. Report from the High Level Group chaired by Loyola de Palacio, November 2005. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/ten/transport/external_dimension/doc/2005_12_07_ten_t_final_report_en.pdf. Доступ 12.08.2021. ●

Информация об авторах:

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

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

Раков Дмитрий Александрович – магистр по направлению «Менеджмент», заместитель руководителя направления консалтинга и экспертизы Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, dmitry_rakov@bk.ru.

Шитов Егор Александрович – магистр по направлению «Менеджмент», руководитель направления консалтинга и экспертизы Центра хранения и анализа больших данных, МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, egor.shitov29@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 03.07.2020, одобрена после рецензирования 22.01.2021, актуализирована 12.08.2021, принята к публикации 26.08.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656:519.8:669.013.5:004

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-12>

Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний



Алексей ПОПОВ



Ольга СУСЛОВА



Артём КОБЕРНИЦКИЙ



Артём ХМЕЛЕВ

*Алексей Тимофеевич Попов¹, Ольга Анатольевна Суслова²,
Артём Александрович Коберницкий³, Артём Сергеевич Хмелев⁴*

1, 2, 3, 4 Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия.

✉ *4 khmeleff_art@mail.ru.*

АННОТАЦИЯ

Современный уровень развития мировой экономики предполагает острую конкурентную борьбу как на внешних, так и на внутренних рынках. В этих условиях всё более очевидным становится тот факт, что рост прибыли и, соответственно, дальнейшее развитие компаний будут осуществляться не столько за счёт экспансии, сколько за счёт улучшения сервиса для клиентов, роста ассортимента предлагаемых товаров и услуг, повышения качества продукции и снижения производственных издержек.

Главную роль в оптимизации технологических процессов на текущий момент играет цифровая трансформация производства. Внедрение передовых информационных технологий имеет огромное значение для всех мировых компаний, так как с ростом уровня развития информационных систем совершенствуются бизнес-процессы, повышается безопасность и экологичность.

Зарубежные исследования показывают, что применение современных информационных технологий на транспорте необходимо для повышения безопасности движения, снижения воздействия на экологию, роста эффективности перевозочного процесса.

Российский горно-металлургический комплекс наравне с нефтегазовой отраслью вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Сложная производственная технология, большой объём перевозок, вредные и опасные условия труда персонала – всё это обуславливает необходимость развития цифровой среды для увеличения производительности труда и объёмов выпускаемой продукции.

Целью исследования является изучение возможности применения информационных систем контроля и прогнозирования для решения технических, технологических и организационных задач на железнодорожном транспорте металлургии.

В статье используются сравнительный анализ, общенаучные и математические методы исследования.

Авторы изучают роль информационных систем в цифровой трансформации производства, приводят методику создания стохастической модели прогнозирования прибытия отправительских маршрутов на предприятие и рассматривают направления развития в области цифровой трансформации промышленного транспорта.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, стохастическое моделирование, металлургическое предприятие, информационные системы.

Для цитирования: Попов А. Т., Суслова О. А., Коберницкий А. А., Хмелев А. С. Совершенствование информационного взаимодействия металлургического комбината и операторских компаний // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-12>.

*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

Результаты международных исследований, обосновывающих позитивную роль применения современных информационных технологий на транспорте для повышения безопасности движения, снижения воздействия на экологию, роста эффективности перевозочного процесса [1, с. 12; 2, с. 36; 3, с. 692], в полной мере могут быть применены и для анализа деятельности промышленного транспорта, в частности, железнодорожного.

На сегодняшний день почти каждое промышленное предприятие имеет свою развитую логистическую систему, от эффективности работы которой зависит производительность его мощностей, оборот подвижного состава и расходы компании.

На металлургических комбинатах от правильно выстроенной стратегии по доставке сырья от мест добычи полезных ископаемых до цехов основного производства, а затем готовой продукции до потребителя зависит себестоимость производства. Снижение затрат на транспортировку и складирование грузов, увеличение ежемесячного и годового оборота продукции положительно влияют на эффективность производственного процесса.

Именно поэтому так важны системное развитие, оптимизация и совершенствование всех логистических цепей поставок и сбыта, ведь от этого зависит будущее развитие промышленного предприятия.

Основная роль и задача логистики заключаются в закупке, снабжении, сбыте, транспортировке и хранении товарно-материальных ценностей.

В рамках данной научной статьи будет рассмотрено исследование, целью которого являлся анализ и прогнозирование перспективных форм взаимодействия промышленного предприятия полного цикла производства (металлургического комбината) с операторскими компаниями, которые являются собственниками подвижного железнодорожного состава [4, с. 299]. В общем виде это можно представить как взаимодействие магистрального железнодорожного транспорта и транспорта необщего пользования. На различных этапах исследования использовался метод прогнозирования на основе статистической математической стохастической модели с элементами теории вероятностей.

Транспортная логистика – сложный процесс планирования, основанный на анализе спроса на готовую продукцию в соответствии с запро-

сами потребителей. Зная конечные параметры по объёмам производства, специалисты выбирают требуемый тип подвижного состава, его необходимое количество, планируют объёмы и маршрут перевозки с учётом условия минимизации транспортных затрат, а также осуществляют оформление транспортной документации. Результатом работы является удовлетворение спроса на готовую продукцию и обеспечение производственных цехов сырьевыми грузами.

Логистику можно разделить на два вида:

1) внутреннюю, которая обеспечивает транспортное обслуживание цехов внутри производственной площадки (например, перевозка горячего чугуна из доменного цеха в конвертерный);

2) внешнюю, целью которой является взаимодействие между различными предприятиями – поставщиками и потребителями – в сфере перевозки сырья, готовой продукции, оборудования и прочих грузов посредством магистрального транспорта.

Логистика в деятельности предприятия – главное связующее звено между всеми этапами производства, а на данном этапе развития технологий и усложнения цепей поставок без применения мощных информационных систем поддержки принятий решений невозможно эффективное управление производственно-коммерческой деятельностью предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Прогнозирование прибытия вагонопотоков

При построении модели прогнозирования прибытия вагонов на предприятие необходимо определить границы периода прогнозирования или, другими словами, горизонт планирования. Именно эта модель и будет являться основой для функционирования информационной системы контроля и прогнозирования работы на железнодорожном транспорте металлургии.

Здесь следует учесть, что горизонт прогнозирования должен быть оптимальным как с технической, так и с экономической точек зрения. С увеличением периодов планирования растёт и неопределённость по причине того, что возрастает количество факторов, влияющих на продвижение подвижного состава по сети, следовательно, точность прогноза падает. Условно горизонт планирования авторами разделён на три уровня прогнозирования (рис. 1):

- 1) оперативный – трёхчасовой период;
- 2) сменный – двенадцатичасовой;
- 3) суточный – двадцатичетырёхчасовой.



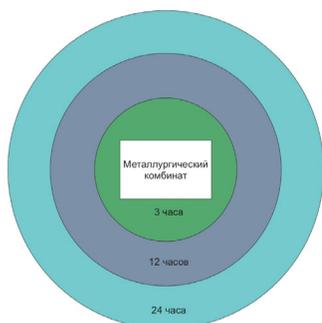


Рис. 1. Уровни прогнозирования вагонопотоков (выполнено авторами).

После определения горизонта планирования требуется разработать модель прогнозирования прибытия вагонов на металлургический комбинат. Это позволит усовершенствовать технологическое взаимодействие промышленного и магистрального железнодорожного транспорта на станциях примыкания путём повышения качества планирования поездной работы по обмену поездами, что приведёт к сокращению оборота вагонов, повышению коэффициентов использования вывозных локомотивов и снижению занятости элементов путевой инфраструктуры.

В настоящее время существует несколько методов прогнозирования [5, с. 120; 6, с. 74; 7, с. 320; 8, с. 129]:

- 1) Интуитивные методы, которые основаны на выводах экспертов в исследуемой области;
- 2) Математические методы, которые базируются на математическом аппарате и подразделяются на:

- модели предметной области;
- модели временных рядов:
 - статистические модели;
 - структурные модели.

В данном исследовании для построения прогноза прибытия отправительских маршрутов авторы предлагают применить статистическую математическую стохастическую модель, используя элементы теории вероятностей. Для этого время хода по сети со станции отправления до станции назначения каждого поезда будет принято за вероятностный эксперимент по следующим причинам: для металлургической отрасли отправление маршрутов с сырьём осуществляется регулярно и ежедневно, составы поездов однотипны и маршрут следования аналогичен. Кроме этого, прибытие поезда на предприятие конкретно в i -й момент времени является случайным событием из-за того, что на отправительский маршрут

во время следования действует бесконечное количество факторов, полностью учесть которые не представляется возможным. В их числе могут быть, например, поломка локомотива, попадание на технологическое «окно» в графике, выявление брака вагона с последующей отцепкой, человеческий фактор в действиях локомотивных бригад, поездных диспетчеров, дежурных по станциям и прочее. Таким образом, время хода поезда является случайной величиной.

Прогнозируемое время прибытия поезда на станцию в общем виде определяется как:

$$t = t_{1\text{отгр}} + t_{1\text{хода}}(P), \quad (1)$$

где t_1 – момент времени отгрузки, ч (сут);

$t_{1\text{хода}}(P)$ – функция времени хода до станции назначения, зависящая от вероятности P , ч (сут).

Отсюда видно, что значение прогнозируемого времени прибытия носит вероятностный характер, а сама функция является вероятностной.

В качестве примера авторами рассматривается выборка из 100 значений времени хода маршрутов с коксом доменным сухого тушения в летний период со станции Заринская до станции Новолипецк в сутках. Все расчёты числовых характеристик случайной величины произведены авторским коллективом *математическими методами* в программе Statistica от компании Statsoft. Полученная гистограмма распределения значений в сравнении с кривой распределения Гаусса приведена на рис. 2.

Применение *метода сравнительного анализа* показывает значительное отклонение гистограммы от кривой нормального распределения в левую сторону, удлинение правого «хвоста» и ярко выраженный пик. Проверка указанного распределения на нормальность проводится с применением критериев Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка.

Исследование методом Колмогорова–Смирнова [9, с. 60]:

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (2)$$

где \sup_x – точная верхняя грань множества;

$F_n(x)$ – функция распределения исследуемой совокупности;

$F(x)$ – функция нормального распределения.

Допустимое значение уровня значимости – более 0,05. В противном случае гипотеза о нормальности отклоняется.

Проверка по модифицированному критерию Шапиро–Уилка осуществляется по формуле [10, с. 605]:

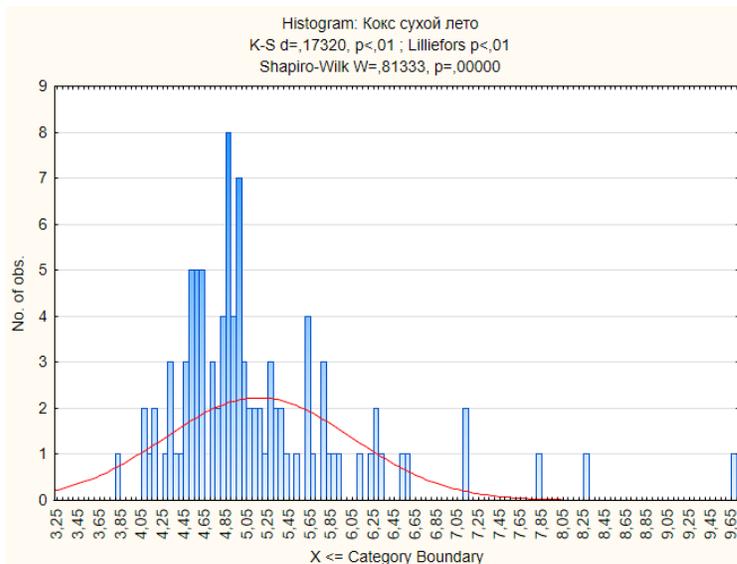


Рис. 2. Гистограмма распределения времени хода маршрутов (выполнено авторами).

$$W = \frac{[\sum_{i=1}^n a_{n-i-1} (x_{n-i-1} - x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где i – порядковый номер элемента в исследуемом ряду;

n – объём совокупности;

\bar{x} – среднееарифметическое значение;

a_{n-i-1} – табличный коэффициент.

Проверка по указанным критериям с применением пакета программ Statistica показывает несоответствие исследуемого распределения нормальному. По результатам исследования в программе Statistica авторами определены числовые характеристики, которые приведены в табл. 1, и построен график прогнозируемого времени прибытия для суточного периода с трёхчасовыми интервалами в общем виде для маршрута кокса сухого тушения (рис. 3).

Построенный график планируемого прибытия в автоматическом режиме передаётся во внутреннюю информационную систему [11, с. 231].

Автоматизированная система мониторинга расположения подвижного состава на железнодорожных путях промышленного предприятия

Углублённое изучение вопроса логистического взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний показывает, что данный процесс является трёхсторонним – производственные цехи, промышленная транс-

портная система и магистральные пути сообщения неразрывно связаны между собой [12, с. 636].

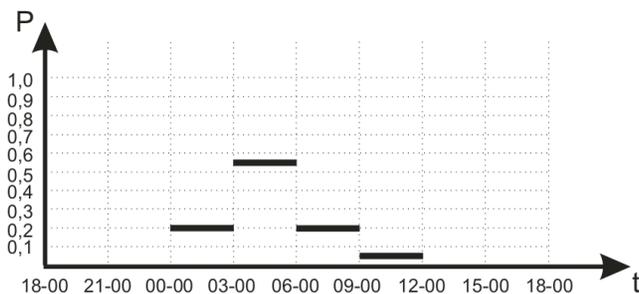
Создание единого информационного поля позволит всем участникам логистического процесса контролировать соответствующие показатели работы транспортной системы, охватывать планированием и перманентным контролем всю логистическую цепочку от момента зарождения грузопотока до его потребления, а также выстраивать стратегию дальнейшего развития [13, с. 265].

После внедрения единой автоматизированной системы мониторинга расположения подвижного состава на предприятии будут визуализированы все процессы, через которые проходит вагон на промышленной площадке. Предлагаемая авторами концепция работы системы для промышленной железнодорожной станции металлургического предприятия представлена на рис. 4.

Данная система контролирует перемещение вагонов по производственной площадке и время технической и коммерческой обработки составов, повышает скорость приёма и отправки грузов и сопутствующих операций по документообороту, минимизирует влияние человеческого фактора. В перспективе предполагается внедрение элементов искусственного интеллекта, алгоритм работы которого позволит вычислять оптимальные маршруты при маневровой работе с целью сокращения транспортных затрат и рисков.



Рис. 3. График вероятности прибытия маршрута в трёхчасовой интервал (выполнено авторами).



Распознавание инвентарных номеров (СТУ) подвижного состава производится с вероятностью не менее 95 % (для чистых, хорошо читаемых номеров, соответствующих требованиям нумерации вагонов грузового парка железных дорог колеи 1520 мм) при любых погодных условиях и различной степени освещённости. Скриншот программы, работающей на железнодорожной станции металлургического предприятия, приведён на рис. 5.

Таким образом, информационная система позволяет полностью автоматизировать процесс документальной регистрации прохождения железнодорожных составов через контролируемую зону с обеспечением функций осмотра в техническом и коммерческом отношении. Полученные данные могут быть использованы как для целей учёта, так и в качестве доказательной базы при возникновении спорных ситуаций с контрагентами [14, с. 55].

С помощью системы контроля положения подвижного состава каждый участник перевозочного процесса в режиме реального времени может контролировать конкретные показатели работы.

Таблица 1
Числовые характеристики случайной величины (выполнено авторами)

Наименование характеристики	Обозначение	Значение
1	2	3
Математическое ожидание	M	5,159
Медиана	Med	4,942
Среднеквадратичное отклонение	σ	0,798
Коэффициент асимметрии	β_1	2,237
Коэффициент эксцесса	β_2	7,333
Доверительный интервал, 95 %	—	(3,378; 6,940)

Используя сравнительный анализ, можно выделить преимущества системы автоматизированного мониторинга расположения подвижного состава:

1) Для производственных цехов:

- контроль перемещения вагонов с сырьём как на внешней, так и на внутренней площадках;
- контроль подачи порожнего подвижного состава под погрузку готовой продукции;
- корректировка данных и ввод дополнительной информации для других участников;

• оптимизация взаимодействия основного производства и промышленной транспортной системы, которая его обслуживает [15, с. 66].

2) Для транспорта необщего пользования:

- контроль перемещения гружёного и порожнего подвижного состава как на магистральной сети, так и на производственной площадке;
- координация взаимодействия производственных цехов и магистрального транспорта с учётом вводных параметров от других участников перевозочного процесса;

• сокращение транспортных расходов при условии осуществления манёвров по оптимальным маршрутам;

• контроль передвижения локомотивов, что повысит эффективность использования тягового подвижного состава на путях необщего пользования [16, с. 53].

3) Для компаний операторов, собственников вагонов внешнего парка:

- визуализация всего логистического процесса, которая позволяет прогнозировать время сдачи подвижного состава на сеть;
- планирование отправляемых вагонопотоков.

Экономическая составляющая проекта

Экономическая составляющая проекта для промышленного предприятия при условии внедрения в эксплуатацию автоматизированной системы прогнозирования прибытия и монито-

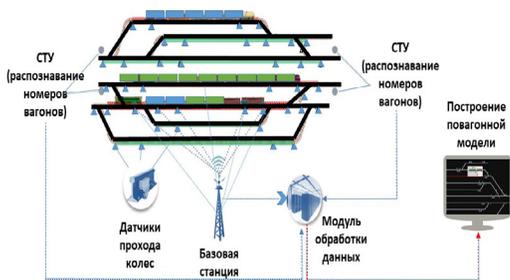


Рис. 4. Концепция работы системы контроля перемещения вагонов и локомотивов в реальном времени (выполнено авторами).



Рис. 5. Пример работы системы за контролем перемещения подвижного состава (выполнено авторами).

ринга расположения подвижного состава на железнодорожных путях необщего пользования на производственной площадке будет оцениваться в виде годового экономического эффекта и срока окупаемости:

$$T = K / (\mathcal{E} - \mathcal{E}_1), \quad (4)$$

где T – срок окупаемости проекта, лет;

K – капитальные затраты на реализацию проекта, руб.;

\mathcal{E}_1 – дополнительные годовые расходы на содержание системы, руб.;

\mathcal{E} – экономический эффект от проекта, руб.:

$$\mathcal{E} = (t_2 - t_1) \cdot V \cdot P, \quad (5)$$

где t_2, t_1 – среднее время нахождения вагонов на промышленной площадке до и после внедрения системы, ч;

V – годовое количество вагонов, приходящее на предприятие, ваг;

P – ставка привлечения подвижного состава за единицу времени, руб./ваг•час.

Авторским коллективом определён месячный средневзвешенный оборот вагона на площадке по данным за 2020 год (рис. 6).

Все расчётные экономические данные, приведённые в статье, указаны по экспертным оценкам.

Капитальные затраты K на внедрение данного проекта составят – 31 млн руб.

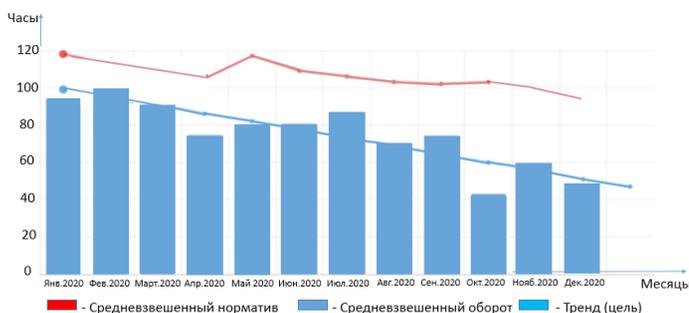


Рис. 6. Помесячный средневзвешенный оборот вагонов на промышленной площадке до и после внедрения системы (выполнено авторами).

Годовые эксплуатационные расходы \mathcal{E}_1 после внедрения системы – 1,9 млн руб./год.

Позитивный прогноз по сокращению показателя времени оборота вагонов внутри промышленной площадки даёт основание полагать, что будет достигнут экономический эффект за счёт [17, с. 187]:

- оптимизации трудозатрат на контроль входящих и исходящих вагонов – 4,8 млн руб./год;
- контроля соблюдения требований перевозчика – 2,4 млн руб./год;
- сокращения затрат на ведение документооборота по вагонам – 2,5 млн руб./год.

Таким образом, общий экономический эффект от внедрения системы должен составить около 9,7 млн руб./год. Следовательно, срок окупаемости проекта составит 4 года.

ВЫВОДЫ

Совершенствование информационного взаимодействия всех участников перевозочного процесса принесёт экономический эффект за счёт улучшения качества оперативной работы, снижения трудозатрат, сокращения оборота вагонов как на подъездном пути предприятия, так и на внешней сети [18, с. 183].





Математический аппарат прогнозирования позволит планировать равномерный подход поездов к станциям примыкания, в то время как автоматизированная система контроля подвижного состава на подъездном пути составит оптимальный план маневровых работ с прибывающим подвижным составом. Совершенствование алгоритма работы системы, а также его дальнейшее обучение, например, на базе искусственных нейронных сетей, позволит получить ещё больший технический и, следовательно, экономический эффект.

Высокие цены на металлы на внешних и внутренних рынках в совокупности с ростом объёмов производства обуславливают увеличение и объёмов перевозок грузов чёрной металлургии. При сохранении данной тенденции экономический эффект окажется выше прогнозируемого.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Deng, Hsien-Wen; Shue, Mitch; Rahman, N., Chowdhury, M., Salek, M. S. Commercial Cloud Computing for Connected Vehicle Applications in Transportation Cyber-Physical Systems: A Case Study. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2021, Vol. 13, Iss. 1, pp. 6–19. DOI: 10.1109/MITS.2020.3037314.
2. Durmusoglu, A., Unitmaz Durmusoglu, Z. D. Traffic Control System Technologies for Road Vehicles: A Patent Analysis. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2021, Vol. 13, Iss. 1, pp. 31–41. DOI: 10.1109/MITS.2020.3037319.
3. Zheng, Shi-Teng; Jiang, Rui; Jia, Bin; Gao, Ziyou; Tian, Junfang. Impact of Stochasticity on Traffic Flow Dynamics in Macroscopic Continuum Models. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2020, Vol. 2674, Iss. 10, pp. 690–704. DOI: 10.1177/0361198120937704.
4. Хмелев А. С., Попов А. Т. Обзор рынка железнодорожных грузоперевозок // Школа молодых учёных по проблемам технических наук: Сборник материалов областного профильного семинара. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 298–302. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36483271>. Доступ 27.05.2021.
5. Игумнов А. О., Соськин Д. М. Разработка методики построения прогноза времени прибытия с использованием статистических и фактических данных о движении транспортных средств по принципу подбора шаблонов // *Наукоедение*. – 2016. – № 3. – 12 с. [Электронный ресурс]: <https://naukovedenie.ru/PDF/34TVN316.pdf>. Доступ 27.05.2021.
6. Лысков М. Г., Ольшанский А. М. О некоторых подходах к прогнозированию прибытия поездов на сортировочные станции // *Вестник транспорта Поволжья*. – 2014. – № 4. – С. 74–81. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22408162>. Доступ 27.05.2021.

7. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 424 с.
8. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
9. Болдин М. В. О мощности критериев Колмогорова–Смирнова для проверки нормальности авторегрессии // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 60–61. [Электронный ресурс]: <http://tvp.ru/conferen/vspmmXX/kidso18.pdf>. Доступ 27.05.2021.
10. Shapiro, S. S., Wilk, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, 1965, Vol. 52, No. 3/4, pp. 591–611. [Электронный ресурс]: <http://links.jstor.org/sici?sici=0006-3444%28196512%2952%3A3%2F4%3C591%3AAA0VTF%3E2.0.CO%3B2-B>. Доступ 27.05.2021.
11. Хмелев А. С., Сулова О. А., Попов А. Т. Информационная система контроля сырьевых грузов металлургического предприятия // *Мир транспорта*. – 2019. – № 5. – С. 228–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-5-228-243>.
12. Бауэрсекс Д. Д., Клосс Д. Д. Логистика: Интегрированная цепь поставок. 2-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2008. – 640 с. [Электронный ресурс]: <https://bookree.org/reader?file=629885&pg=4>. Доступ 27.05.2021.
13. Хмелев А. С., Попов А. Т. Оптимизация взаимодействия промышленного предприятия и операторских компаний // *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ИТТ 2018: Материалы I международной научно-практ. конференции*. – Липецк: ЛГТУ, 2018. – С. 262–269. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36566283_33859231.pdf. Доступ 27.05.2021.
14. Попов А. Т., Коберницкий А. А. Цифровизация промышленной железнодорожной транспортной системы // *Экономика железных дорог*. – 2021. – № 2. – С. 50–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44738832>. Доступ 27.05.2021.
15. Попов А. Т., Воронина О. В. Оценка последствий несвоевременного транспортного обслуживания цехов предприятия // *Мир транспорта*. – 2018. – № 1. – С. 66–81. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1406>. Доступ 27.05.2021.
16. Попов А. Т., Коберницкий А. А. Позиционирование локомотивов в промышленной транспортной системе // *Экономика железных дорог*. – 2021. – № 3. – С. 51–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44857642>. Доступ 27.05.2021.
17. Хмелев А. С., Попов А. Т. Совершенствование методики расчёта средневзвешенного оборота полувагонов металлургического предприятия // *Мир транспорта*. – 2020. – № 1. – С. 184–195. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-184-195>.
18. Коберницкий А. А., Попов А. Т. Потенциал операторских компаний на современном транспортном рынке // *Инженерия в строительстве и транспорте. Актуальные исследования в современной науке: Материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета*. – Липецк: ЛГТУ, 2019. – С. 183–184. ●

Информация об авторах:

Попов Алексей Тимофеевич – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, popov@stu.lipetsk.ru.
Сулова Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, suslova_2003@mail.ru.
Коберницкий Артем Александрович – аспирант кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, tim-cobra@mail.ru.
Хмелев Артем Сергеевич – аспирант кафедры организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия, khmelev_art@mail.ru.

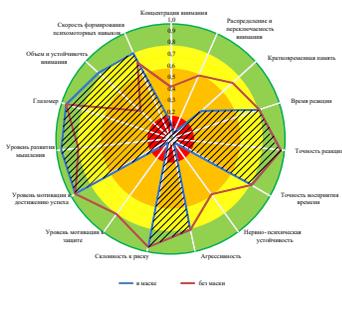
Статья поступила в редакцию 20.05.2021, одобрена после рецензирования 25.08.2021, принята к публикации 10.09.2021.

T



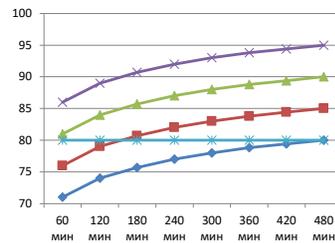
ТРАНСПОРТ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ 118

Лицевые маски в автомобилях. Исследование их влияния на психофизиологические качества и поведение водителей.



ШУМ В ПОЛОСЕ ОТВОДА 126

Российский опыт, действующее законодательство и практические исследования. Подтверждение безопасности работы путейцев вблизи железнодорожных магистралей с интенсивным движением. Универсальные выводы и вопросы на будущее.



БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ





Лицевые маски как фактор эвентуальности изменений безопасности вождения



Алла НЕВЗОРОВА



Сергей СКИРКОВСКИЙ

Алла Брониславовна Невзорова¹,
 Сергей Владимирович Скирковский²

^{1, 2} Белорусский государственный университет
 транспорта, Гомель, Республика Беларусь.

✉ ¹ anevzorova@bsut.by.

АННОТАЦИЯ

В условиях карантинного периода COVID-19, во время пандемии и обострений вирусных заболеваний водителям такси и маршрутных автобусов рекомендовано работать в медицинских масках. Однако количественное и качественное влияние защитных лицевых масок на безопасность вождения транспортными средствами ранее не исследовалось. Поэтому это стало целью предварительных исследований по определению специфики влияния лицевой защитной маски на изменение психофизиологических качеств управляющего автомобилем водителя как фактора эвентуальности безопасности в условиях городского дорожного движения.

В работе использовалась методика открытого опроса 108 здоровых водителей в целях количественной субъективной оценки влияния лицевых масок на изменение условий безопасности вождения и комфортно-эмоциональное состояние во время управления автомобилем. Качественный анализ оценки уровня психофизиологических качеств водителей в лицевой маске и без неё проводили с помощью аппаратно-программного комплекса «Meleti».

У водителей в лицевой защитной маске установлено резкое снижение нервно-психических функций с одновременным повышением качества мышления и визуального

анализа дорожной ситуации по сравнению с управлением автомобилем без маски. При этом уровень психомоторной реакции остается неизменным независимо от пола водителя.

Субъективная оценка участниками опроса влияния лицевой защитной маски на профессионально важные, психофизиологические характеристики водителей выявила существенное (41,7 %) или незначительное (20,4 %) снижение реакции, при этом у 38 % водителей не произошло существенных отклонений из-за влияния маски на управление автомобилем.

На основании этих результатов допускается, что лицевая маска может служить одним из предикторов возникновения предаварийной ситуации на дороге.

Для оценки влияния лицевой маски на водителя предложен коэффициент эвентуальности снижения безопасности дорожного движения. Рекомендуется использовать его как дополнительный фактор в ситуативной пандемической обстановке при разработке рекомендаций по применению лицевых масок для водителей легковых автомобилей и автобусов и при анализе причин дорожно-транспортных происшествий.

Ключевые слова: лицевая защитная маска, водитель, безопасность дорожного движения, психофизиологические качества, внешние факторы, коэффициент эвентуальности, дорожно-транспортные происшествия.

Для цитирования: Невзорова А. Б., Скирковский С. В. Лицевые маски как фактор эвентуальности изменений безопасности вождения // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-13>.

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

ВВЕДЕНИЕ

После вспышки пандемии SARS-CoV2 использование лицевых медицинских масок широко рекомендуется международными¹, республиканскими² и местными властями³. Целью новых санитарно-гигиенических требований является снижение выделения капель из дыхательных путей у лиц с предсимптомными и бессимптомными инфекционными респираторными состояниями [1, с. 4].

В зависимости от типа маски могут использоваться либо для защиты здоровых людей, либо для предотвращения дальнейшей передачи инфекции (контроль источника). ВОЗ по-прежнему рекомендует всем лицам, с подозрением или подтверждённым диагнозом COVID-19, ожидающим результатов лабораторных тестов, носить медицинскую маску в присутствии других лиц (это не относится к тем, кто ожидает проведения теста перед поездкой). Для любого типа масок необходимы надлежащее использование, хранение и очистка или утилизация, чтобы обеспечить их максимальную эффективность и избежать повышенного риска передачи инфекции.

Текущие рекомендации носить маску во время контакта с другими людьми затрагивают миллионы человек гражданского населения, а не только медицинских работников, которые должны носить маски в течение всего рабочего времени. Так, водителям такси и маршрутных автобусов во время пандемии и обострений вирусных заболеваний рекомендовано работать в медицинских масках. Однако количественное и качественное влияние защитных и медицинских масок на безопасность управления транспортными средствами ранее не исследовалось. Примером может послужить случай в Соединённых Штатах, где произошла первая серьёзная автомобильная авария, связанная с ношением средств индивидуальной защиты от COVID-19.

¹ Использование маски в контексте COVID-19: промежуточное руководство, 1 декабря 2020 года. The World Health Organization (WHO). [Электронный ресурс]: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199>. Доступ 29.04.2021.

² Методические рекомендации по профилактике коронавирусной инфекции (COVID-19). – Минздрав Республики Беларусь, 2020.

³ Правила поведения, обязательные для исполнения гражданами и организациями, при введении режима повышенной готовности или чрезвычайной ситуации. – Постановление Правительства РФ от 2 апреля 2020 г. № 417.

«По данным полиции, водитель, работавший в респираторе № 95, после нескольких часов в пути внезапно потерял сознание. В результате его автомобиль съехал с дороги и на всей скорости врезался в деревянный столб. Водитель получил незначительные травмы, признаков алкогольного или наркотического опьянения у водителя последующая экспертиза не выявила»⁴. Как известно, респираторы с таким классом защиты фильтруют около 95 % воздуха, и их обычно носят только медицинские работники, которые постоянно контактируют с инфекционными больными. По информации правоохранителей, пострадавший не снимал маску в течение нескольких часов и, вероятнее всего, упал в обморок от недостатка кислорода.

Данные зарубежных исследований, оценивающих влияние физических упражнений, выполняемых человеком с лицевой защитной маской, на сердечно-лёгочную нагрузочную способность, дают однозначные результаты по отрицательному воздействию на такие параметры, как максимальная выходная мощность дыхания (P_{max}) и максимальное потребление кислорода (VO_{2max} /кг), влияющие на дыхание и вентиляцию воздуха в лёгких. Маски значительно снижают лёгочные параметры в покое и при максимальной нагрузке. Кроме того, ношение масок воспринималось как очень неудобное и заметно влияло на субъективное сопротивление дыханию с маской. «Ношение маски привело к снижению объёма вдыхаемого воздуха на 13 % и вентиляции на 23 %» [2]. Эти изменения согласуются с повышенным сопротивлением дыхательных путей (напр., [3, с. 920]). Исследования, в которых проверялось усиление обструкции верхних дыхательных путей, вызванной дополнительным сопротивлением во рту, сообщают об аналогичном влиянии на параметр функций лёгких с повышенным сопротивлением дыханию [4, с. 1374]. Снижение вентиляции было результатом более низкой частоты дыхания с соответствующими изменениями времени вдоха и выдоха и уменьшением дыхательного объёма. Это согласуется с эффектами респираторных защитных устройств или дополнительного внешнего сопротивления дыханию [5, с. 279].

⁴ Водитель попал в ДТП из-за защитной маски. [Электронный ресурс]: <https://germania-one.turbopages.org/germania.one/s/voditel-popal-v-dtp-iz-za-zashhitnoy-maski/>. Доступ 29.04.2021.



В частности, сопротивление дыханию, тепло, стеснение и общий дискомфорт при ношении масок – это факторы, которые воспринимаются как субъективно тревожные и сопровождаются повышенным восприятием нагрузки [6, с. 509]. Очевидно, что маски негативно влияют на динамику восприятия, особенно на пределе толерантности к физической нагрузке. Связанный с этим дискомфорт может быть указан как вторая важная причина наблюдаемого ухудшения физической работоспособности [7, с. 950].

Масочный режим во многих странах вводится частично или полностью обязательным в зависимости от ситуации [8, с. 152]. И если пешеходы при соблюдении дистанции должны быть в маске в общественных местах и соблюдать правила ношения масок [9, с. 1985], то для водителей, управляющих транспортным средством, такие нормы остаются спорными. Не оговорены случаи, когда водитель должен быть в маске, а в каких допустимо нахождение без неё. Правила дорожного движения конкретно ношение медицинских масок никак не регламентируют, и, следовательно, это можно рассматривать как отсутствие запрета на их ношение во время нахождения за рулём автомобиля и управления последним. Поэтому актуальным является проведение исследований по определению причин и последствий ношения лицевых защитных масок как фактора эвентуальности изменений безопасности вождения и дорожного движения.

Цель настоящей работы – рандомизированное исследование влияния лицевой маски на изменение психофизиологических качеств водителя как фактора эвентуальности безопасности управления автомобилем в условиях городского дорожного движения в карантинный период COVID-19.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общая совокупная выборка исследования включала 108 здоровых участников в рандомизированном порядке. В данной группе количественно оценивались эффекты управления автомобилем в защитной маске и без неё у мужчин (75 %) и женщин (25 %) (возраст $22-48 \pm 2,2$ года). Реакция на движение транспорта контролировалась с помощью видеорегистратора. После управления автомобилем в лицевой защитной маске (ЛЗМ) и без неё с помощью анкеты, сформированной в откры-

том веб-ресурсе Google Формы <https://docs.google.com/forms/>, оценивали десять областей комфорта/дискомфорта водителя.

Для качественной оценки влияния ЛЗМ на психоэмоциональное состояние водителя и степени её влияния на безопасность вождения проведены исследования около 10 % водителей с помощью аппаратно-программного комплекса «Meleti», предназначенного для тестирования, оценки и развития психофизиологических качеств водителей транспортных средств. Комплекс «Meleti» выдаёт автоматическое заключение без участия профессионального психолога и позволяет оценить уровень психофизиологических качеств, необходимых для безопасного управления транспортным средством. Испытуемые проходили тестирование дважды: в маске и без неё. Тесты проводились в одно время суток, но в разные дни с интервалом минимум в 48 часов, для обеспечения одинаковых условий эксперимента.

В работе сделано допущение, что тип ЗЛМ (медицинская или тканевая) не оказывает влияние на прохождение теста, так как выбор маски оставался за участниками тестирования, и авторы исследования не могли его тщательно контролировать.

В качестве автотранспортных средств использовались легковые автомобили и пассажирские автобусы.

Все участники тестирования зафиксировали своё разрешение в конце опроса на использование их ответов в данной исследовательской работе, так как оно не нанесёт вреда участникам и учреждениям, где они учатся или работают, а все полученные результаты являются конфиденциальными и будут представлены в общем виде.

Участники тестирования не были осведомлены в отношении результатов соответствующих тестов, дабы избежать предвзятости при прохождении испытаний. Статистический анализ проводился независимым исследователем, который не участвовал в проведении тестов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Первая часть исследований

В первой части исследований проводился статистический анализ количественной субъективной оценки влияния ЗЛМ у здоровых взрослых водителей на изменение условий безопасности вождения и комфортно-

эмоциональное состояние во время управления автомобилем. Полученные в ходе исследований данные подчиняются закону нормального распределения, в силу чего к ним применены параметрические статистические процедуры.

В исследовании приняли участие 108 человек, большая часть испытуемых (75 %) – лица мужского пола. Возраст респондентов от 18 до 55 лет, причём более половины из них в возрасте от 20 до 35 лет. Стаж управления автомобилем – от одного года до 25 лет.

Установлено следующее распределение респондентов по времени управления автомобилем в ЗЛМ: 61,1 % участников исследования находились за рулём автомобиля около 15 минут, 33,3 % испытуемых управляли автомобилем 30 и более минут. Остальные – около 20 минут.

Оценка респондентами влияния ЗЛМ на комфорт во время управления автомобилем показала, что участники исследования испытывали постоянный (56,5 %) или заметный (40,7 %) дискомфорт при использовании масок, особенно при напряжённом режиме движения и в тёмное время суток

Распределение респондентов по степени влияния ЗЛМ на функции дыхания показало, что более половины участников исследования (54,6 %) испытывали постоянное затруднение в дыхании при использовании маски во время управления, ещё 22,2 % испытывали дискомфорт иногда и лишь чуть менее четверти (23,1 %) не испытывали каких-либо неудобств.

Исследование распределения случаев возникновения аллергических реакций от ношения маски во время управления автомобилем с использованием ЗЛМ выявило, что у 51 % водителей возникали различные аллергические реакции (зуд, покраснение) каждый раз, у 16,7 % такие последствия возникали иногда, и только у 32,3 % – никогда.

Подавляющее большинство водителей (75,9 %) испытывали желание снять маску, причем три четверти водителей – постоянно.

Также около 60 % опрошенных чувствовали высокую степень усталости от ношения ЗЛМ постоянно, 17,6 % – иногда, и только на 23,1 % респондентов маски негативного влияния не оказали.

В то же время, более половины опрошенных (38,9 % – существенно и 12,0 % – незначительно) отметили ухудшение восприятия информации с приборной панели автомобиля

при вождении в ЗЛМ. Также отмечалось сужение угла обзора и некоторое неудобство пользования боковыми зеркалами. Это соотносится с результатами в части снижения точности воздействия на органы управления при наличии маски, так как более половины водителей (53,7 %) отметили некоторую заторможенность в реакциях по управлению автомобилем. Схожие ответы были получены на вопрос о влиянии защитной маски на концентрацию внимания. Так у 38 % водителей маска существенно снизила концентрацию внимания, у 27,8 % – незначительно и 34,3 % опрошенных не заметили какого-либо негативного влияния ЗЛМ на эту характеристику.

Итоги исследований субъективной оценки влияния защитной маски на профессионально важные, психофизиологические характеристики водителей выявили следующее: около двух третей водителей сообщили о существенном (41,7 %) или незначительном (20,4 %) снижении реакции, при этом у 38 % не произошло существенных отклонений из-за влияния маски на реакцию управления автомобилем. Вследствие того, что маска является дополнительным фактором невнимательности и физиологической усталости водителей, это может стать одной из причин дорожно-транспортного происшествия.

Таким образом очевидно, что в ситуации, когда риск заражения минимален, нет объективной необходимости управлять автомобилем в ЗЛМ, и водитель без пассажиров в машине может работать без маски. Также необходимо уточнить, что в условиях летнего сезона маска будет только осложнять дыхание и ухудшать самочувствие водителя, а наличие маски на лице летом при одновременном ношении солнцезащитных очков будет приводить к запотеванию их на выдохе, что является ещё одним из отрицательных факторов безопасности вождения.

Вторая часть исследований

Во второй части исследований был проведён качественный анализ оценки уровня психофизиологических качеств водителей в ЗЛМ и без неё с помощью аппаратно-программного комплекса «Meleti»⁵, имеющего необходимые сертификаты соответствия. Тестирование прошли 11 человек или 10 %

⁵ Тестирование психофизиологических качеств. [Электронный ресурс]: <https://anonmc.ru/deyatelnost/testirovanie/>. Доступ 29.04.2021.



**Результаты оценки профессионально-важных качеств водителя
в защитной маске и без неё (составлено авторами)**

Профессионально важные качества водителя	Показатели			
	в маске		без маски	
	относит. ед.	баллы	относит. ед.	баллы
Концентрация внимания	0,14	2	0,45	3
Распределение и переключаемость внимания	0,047	2	0,6	3
Кратковременная память	0,36	3	0,72	4
Время реакции	0,81	4	0,81	4
Точность реакции	0,96	5	0,96	5
Точность восприятия времени	0,81	4	0,81	4
Нервно-психическая устойчивость	0,047	2	0,6	3
Агрессивность	0,81	4	0,81	4
Склонность к риску	0,96	5	0,96	5
Уровень мотивации к защите	0,047	2	0,81	4
Уровень мотивации к достижению успеха	0,96	5	0,96	5
Уровень развития мышления	0,96	5	0,81	4
Глазомер	0,96	5	0,96	5
Объём и устойчивость внимания	0,85	5	0,36	3
Скорость формирования психомоторных навыков	0,81	4	0,72	4
Итого	9,531	3	11,34	4

от общего количества тестируемых. Продолжительность тестирования длилась от 70 до 100 мин. Оценивались такие качества личности, как:

- психофизиологические: параметры внимания (объём, устойчивость, концентрация, распределение внимания), параметры кратковременной памяти, времени и точности реакции, точности восприятия времени и т. д.;
- индивидуальные: склонность к риску, агрессивность, свойства нервной системы и темперамента, мотивация к безаварийному вождению и т. д.

В качестве системы оценивания результатов тестирования принимались отметки от высокой до низкой. Обработка данных производилась с использованием инструментов статистического анализа в электронных таблицах MS Excel, граничное значение каждого конкретного коэффициента рассчитывалось как среднее по результатам тестирования от 0,1 до 1,0 (табл. 1).

Так, наличие маски на лице водителя приводит к снижению уровня профессионально важных качеств от «высокого» до «среднего», общей оценки психофизиологического отбора с «хорошо» до «удовлетворительно», ухудшению прогноза успешности деятельности по специальности «водитель» с «благоприятного» на «неопределённый». Кроме того, в заключении «возможность» деятельности по специальности «водитель» с оцен-

кой «годен» водители в маске отнесены к категории респондентов, которым «не противопоказана» деятельность по специальности «водитель» с оценкой «условно годен».

В качестве основного инструментария выявления условно влияющих значений коэффициентов на общее психофизиологическое состояние водителя в ЛЗМ была выбрана параметрическая модель – лепестковая диаграмма, которая позволяет визуально оценивать поля и области допустимых значений.

На рис. 1 приведены обобщающие данные тестирования определения уровня психофизиологических качеств и установленных параметров исследуемой группы водителей в ЛЗМ и без неё. Каждому оцениваемому параметру на диаграмме соответствуют отдельный луч. В зависимости от важности диаграмма разделена условно на четыре зоны: пороговая – от 0 до 0,19, удовлетворительная – от 0,2 до 0,59, хорошая – от 0,6 до 0,79 и отличная – от 0,8 до 1,0.

Анализируя обобщённые результаты автоматизированного психофизиологического обследования, было установлено, что психофизиологические качества водителей в масках показали более низкие значения по отдельным профессионально важным качествам по сравнению с этим же тестом, пройденным без маски, а именно:

- уровень концентрации внимания снижается на 69 %. Водитель не способен длитель-



Рис. 1. Влияние маски на уровень психофизиологических качества водителей (выполнено авторами).

ное время концентрировать внимание на важных элементах дорожного движения и систем управления ТС (на показаниях приборов, дорожных знаках и разметке, сигналах светофора и т.д.). Он часто отвлекается на посторонние факторы и раздражители (на собственные мысли, не связанные с управлением ТС, которые снижают безопасность управления ТС, на окружающую обстановку, на пользование гаджетами, на звуки и эмоциональные разговоры). Он не может сконцентрироваться в сложных дорожных ситуациях (езда в часы пик, затруднённые дорожные и метеоусловия);

- показатель переключаемости внимания снижается на 92 %. Водитель не внимателен к дорожным знакам и показаниям приборов, пропускает дорожные ориентиры, часто не в состоянии оценить комбинации дорожных знаков, регулярно демонстрирует замедленную реакцию на переключение внимания с дорожной обстановки на внешние раздражители, постоянно отвлекается. Водитель демонстрирует растерянность, склонность к созданию аварийных ситуаций из-за замедленной способности к их адекватной оценке

и замедленного принятия управленческих решений (особенно в условиях незнакомой дорожной ситуации или местности);

- показатель кратковременной памяти снижается на 50 %. Водитель не всегда способен удерживать в памяти оперативную информацию: дорожные знаки, имеющие пролонгированное действие, например, ограничения скорости, запреты остановок, указатели населённых пунктов и т.п. Иногда может забывать маршруты, адреса, характер дорог. Не всегда способен стабильно поддерживать свои поведенческие мотивы при движении по известной дороге в зависимости от её загрузки по времени суток, по дням недели, при наступлении условий недостаточной видимости. Может испытывать трудности в ориентации на местности. Из-за вышесказанного может иногда неосознанно нарушать ПДД, создавать аварийные ситуации;

- уровень нервно-психической устойчивости снижается на 92 %, что говорит о возникновении вероятности нервно-психических срывов, направленных на попутчиков и (или) на «виновников», вызвавших у него такую реакцию. Водитель вспыльчив и неуравнове-



шен, неадекватно ведёт себя за рулём. Часто нарушает ПДД как произвольно, так и намеренно. Водителю желательна консультация психоневролога;

- уровень мотивации к избеганию неудач увеличился на 94 %. Такой водитель обладает пониженными навыками безопасного управления автомобилем, которые являются следствием его невнимательности, несобранности, низких показателей зрительно-моторной реакции, неспособности правильно оценить дорожную ситуацию. Вышесказанное часто приводит водителя к крайне заниженной самооценке и уровню притязаний, к хронической боязни неудач (нежеланию попасть в ДТП), которая усиливается по мере повышения мотивации к высокому уровню избегания неудач и часто лавинообразно увеличивает их возникновение;

- уровень развития мышления увеличивается на 19 %. Такой водитель всегда надёжен в контроле своего ТС, движения других ТС в потоке и в целом всей дорожной обстановки, способен качественно прогнозировать развитие дорожной ситуации. Обеспечивает высокую безопасность управления ТС, исповедует безопасный стиль управления с учётом минимальных рисков;

- уровень монотонии увеличивается на 136 %. Водитель при однообразных, скучных и монотонных условиях дорожного движения устаёт, утомляется, теряет скорость реакции, способность контролировать дорожную ситуацию, может даже уснуть, что время от времени провоцирует создание аварийной ситуации.

Человек как звено системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» (ВАДС) является не только основным, но и самым неустойчивым [10, с. 113]. По своей природе человек характеризуется непостоянством, способностью к изменению, в связи с чем проблема надёжности водителя при управлении автомобилем сложна своей многоплановостью [11, с. 14].

При балансе всех звеньев системы вероятность дорожно-транспортного происшествия незначительна [12, с. 9; 13, с. 60]. Но дисбаланс хотя бы одного звена приводит к дисбалансу всей системы и росту вероятности дорожно-транспортного происшествия. Надёжность водителя в системе «водитель–автомобиль–дорога–среда» детерминирована весьма сложным комплексом взаимосвязанных факторов. Ведущее значе-

ние среди них имеют работоспособность, знания, умения, навыки, мотивы, выраженность которых обусловлена индивидуальными особенностями, характером и состоянием здоровья водителя, а также стилем его вождения [14, с. 87].

К особенностям деятельности водителя следует также отнести и воздействующие на него внешние неблагоприятные факторы: жару и холод, высокую влажность воздуха, неудовлетворительное состояние дороги (гололёд, снег, грязь и т.п.), шум и вибрацию, неудобную рабочую позу и пр. [15, с. 770]. При рассеянности, раздражительности, сниженном внимании, сонливости и других жалобах, связанных с уровнем работоспособности, вероятность транспортного происшествия резко (в 1,5–1,8 раза) возрастает [16, с. 178]. Поэтому требование управлять автомобилем в защитной маске является ещё одним негативным внешним раздражающим фактором, который отрицательно влияет на работоспособность.

Таким образом, маска рассматривается как эвентуальный фактор внешней среды, влияющий на аварийность. Степень влияния предлагается оценивать коэффициентом эвентуальности снижения безопасности дорожного движения и определять как отношение площади лепестковой диаграммы, построенной по значениям показателей уровня профессионально важных качеств водителя в маске, к площади диаграммы, полученной при тестировании без неё:

$$k_{ev} = \frac{S_M}{S_{6M}} = \frac{\sum_1^n k_{пвк,м}}{\sum_1^n k_{пвк,6м}} \quad (1)$$

Коэффициент показывает количественную оценку влияния использования защитной маски в процессе управления автомобилем на уровень психофизиологических качеств и свойств личности водителя, которые в свою очередь влияют на безопасность управления автомобилем. В нашем случае:

$$k_{ev} = \frac{9,531}{11,340} = 0,84.$$

Необходимость учёта коэффициента эвентуальности возникает при расследовании ДТП, когда есть предположения о наличии причинно-следственной связи между ношением защитной маски и фактом возникновения конфликтной и аварийной ситуаций на дороге.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование лицевой защитной маски водителем во время управления автомобилем приводит к существенному повышению уровня мыслительной деятельности, объёма и устойчивости внимания водителя. Однако в результате психологического перенапряжения и дискомфорта от лицевой маски наблюдается снижение таких важных психофизиологических качеств водителя, как концентрация внимания (более чем в три раза), распределение переключения внимания между статическими (дорожные знаки, светофорные объекты, разметка и т.п.) и динамическими (движущиеся транспортные средства и пешеходы) объектами на дороге (более чем в десять раз).

Для оценки влияния лицевой маски у водителя предложен коэффициент эвентуальности снижения безопасности дорожного движения, который может учитываться при разработке рекомендаций по использованию лицевых масок для водителей легковых автомобилей и автобусов и при анализе причин дорожно-транспортных происшествий в ситуативной пандемической обстановке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. RKI (2020) Robert Koch-Institut: Mund-Nasen-Bedeckung im öffentlichen Raum als weitere Komponente zur Reduktion der Übertragungen von COVID-19. *Epidemiologisches Bulletin*, 2020. DOI: 10.25646/673.
2. Fikenzler, S., Uhe, T., Lavall, D., Rudolph, U., Falz, R., Busse, M., Hepp, P., Laufs, U. Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clinical Research in Cardiology*, 2020, Iss. 109, pp. 1522-1530. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01704-y>.
3. Lee, H. P., Wang, D. Y. Objective Assessment of Increase in Breathing Resistance of No. 95 Respirators on Human Subjects. *The Annals of Occupational Hygiene*, 2011, Vol. 55, Iss. 8, pp. 917-921. DOI: 10.1093/annhyg/mer065.
4. Melissant, C. F., Lammers, J. W., Demedts, M. Relationship between external resistances, lung function changes and maximal exercise capacity: *European Respiratory Journal*, 1998, No. 11, pp. 1369-1375. DOI: 10.1183/09031936.98.11061369.
5. Louhevaara, V. A. Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. A review. *Scandinavian Journal of Work, Environment and*

Health, 1984, Vol. 10 (5), pp. 275-281. DOI: 10.5271/sjweh.2327.

6. Li, Y., Tokura, H., Guo, Y.P., Wong, A.S.W., Wong T., Chung, J., Newton, E. Effects of wearing No. 95 and surgical facemasks on heart rate, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2005, Vol. 78, pp. 501-509. DOI: 10.1007/S00420-004-0584-4.

7. Powell, J. B., Kim, J. H., Roberge, R. J. Powered air-purifying respirator use in healthcare: Effects on thermal sensations and comfort. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2017, Vol. 14, Iss. 12, pp. 947-954. DOI: 10.1080/15459624.2017.1358817.

8. Шашина Е. А., Исюткина-Федоткова Т. С., Макарова В. В., Груздева О. А., Митрохин О. В. Подходы к анализу эффективности средств защиты органов дыхания как мер снижения риска нарушения здоровья во время пандемии COVID-19 // *Анализ риска здоровью*. – 2021. – № 1. – С. 151-158. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16.

9. Chu, D. K., Akl, E. A., Duda, S., Yaacoub, S., Solo, K., Schünemann, H. J. Physical distancing, face masks and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 2020, Vol. 395, No. 10242, pp. 1973-1987. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9.

10. Усенбаева З. А. Водитель – оператор сложной динамической системы // *Наука и техника Казахстана*. – 2010. – № 2. – С. 113-115.

11. Степанов И. С., Покровский Ю. Ю., Ломакин В. В., Москалева Ю. Г. // *Влияние элементов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» на безопасность дорожного движения*. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.

12. Васильченко А. С., Шпорт С. В., Бульгина В. Г. Психофизиологические основы деятельности водителей и безопасность дорожного движения // *Российский психиатрический журнал*. – 2018. – № 5. – С. 4-9. [Электронный ресурс]: <http://rpj.serbssky.ru/index.php/rpj/article/view/595>. Доступ 29.04.2021.

13. Скиркоцкий С. В. Факторный анализ последствий ДТП в Гомельской области // *Проблемы безопасности на транспорте: материалы X Междунар. науч.-практ. конф.: в 5 ч. – Ч. 3. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж.д. Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко*. – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 58-60.

14. Лобанова Ю.И. О возможностях прогноза аварийности водителей // *Психология. Психофизиология*. – 2017. – Т. 10. – № 1. – С. 74-87. DOI: <http://dx.doi.org/10.14529/psy170108>.

15. Скиркоцкий С. В., Невзорова А. Б. Влияние первичных индикаторных факторов на комплексный показатель аварийных ситуаций в городских условиях // *Политранспортные системы: Материалы XI Международной научно-техн. конференции (Новосибирск, 12-13 ноября 2020 г.)*. – С. 767-771. [Электронный ресурс]: https://www.stu.ru/particular/get_teamwox_file.php?id=32880&ext=.pdf. Доступ 29.04.2021.

16. Пеньшин Н. В., Ушакова М. А. Причины аварийности и критерии контроля на автодорогах // *Мир транспорта*. – 2017. – Т. 15. – № 5. – С. 176-182. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1315>. Доступ 29.04.2021. ●

Информация об авторах:

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения, химии и экологии Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Республика Беларусь, anevzорова@bsut.by.

Скиркоцкий Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры управления автомобильными перевозками и дорожным движением Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Республика Беларусь, Sergej-Ski3359@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 10.03.2021, одобрена после рецензирования 12.05.21, принята к публикации 19.08.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 534.836.2:351.777.6

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-14>

Шум как критерий формирования санитарно-защитных зон транспортных магистралей



Василий БУРАК

Василий Евгеньевич Бурак

ООО «Группа компаний 1520», Москва, Россия.

✉ v.burak@1520.ru.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросу исследования возможности установления границ санитарных зон (разрывов) для транспортных магистралей вне населённых пунктов по полосе отвода.

Исследование проводилось применительно к требованиям действующего российского законодательства с учётом проектов его изменений. Даны определения полосы отвода, санитарной зоны и отмечены не урегулированные вопросы, связанные с ними.

Вместе с тем методы исследования носили универсальный характер и с условием изменения нормативных параметров могут быть применены для аналогичных исследований в других странах.

В результате проведённых расчётов и натурных исследований было установлено, что в пределах полосы отвода железнодорожной магистрали при существующей интенсивности движения поездов эквивалентный уровень шума в

совокупности не превышает для персонала, исполняющего свои трудовые функции в пределах полосы отвода железной дороги, установленный предельно допустимый уровень в 80 дБА.

Увеличение на полосе отвода эквивалентного уровня шума с 80,0 до 95,0 дБА может приводить к повышению класса (подкласса) вредности.

Анализ фактических результатов специальной оценки условий труда в ОАО «РЖД» показал, что в абсолютном большинстве случаев на рабочих местах работников, находящихся полную или неполную рабочую смену на полосе отвода, регистрируются по фактору «шум» допустимые условия труда. Вредные условия труда на уровне ряда подклассов для отдельных профессий (оператор по путевым измерениям, монтаж пути, работник искусственных сооружений) формируются за счёт показателей тяжести трудового процесса.

Ключевые слова: железная дорога, санитарно-защитная зона, санитарный разрыв, полоса отвода, шум, охрана труда, специальная оценка условий труда.

Для цитирования: Бурак В. Е. Шум как критерий формирования санитарно-защитных зон транспортных магистралей // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 126–130. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-14>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Вокруг различных производственных объектов, являющихся источником негативного воздействия на окружающую среду, работников и население, устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ), предназначенные для локализации и снижения этого воздействия до значений, определённых гигиеническими нормативами.

Санитарно-защитные зоны в Российской Федерации законодательно устанавливаются, изменяются и прекращают функционирование:

- в отношении объектов капитального строительства;
- в случае если эти объекты являются источниками химического, физического и биологического воздействия (ХФБФ, где Ф – факторы);
- если это воздействие осуществляется непосредственно на среду обитания человека;
- и если оно превышает санитарно-эпидемиологические требования за контурами объектов капитального строительства¹.

Средой обитания считаются городские и сельские поселения².

Санитарно-эпидемиологические требования устанавливаются государственными органами отдельно для населения и отдельно для организаций различных форм собственности.

Указаний, регулирующих установление санитарных зон для транспортных магистралей, утверждённые Правительством правила¹ не содержат.

СанПиН 2.2.1/2.2.2.1200-03 требует установления для опасных коммуникаций – автомобильных, железнодорожных, авиационных, трубопроводных и т. п. – санитарных разрывов до границы снижения действия ХФБФ на уровне или ниже гигиенических нормативов³.

Не выработаны типовые требования к санитарным разрывам, хотя такая потребность имеется и обоснована [1].

¹ Постановление Правительства РФ от 03.03.2018 г. № 222 «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/71892700/>. Доступ 03.06.2021.

² Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/. Доступ 03.06.2021.

³ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/902065388>. Доступ 03.06.2021.

Промплощадка ПО³ – земельный участок, на котором расположен промышленный объект, которому он принадлежит на законных основаниях. Полоса отвода по своей сути и назначению является промышленной площадкой для транспортных магистралей.

Из всего изложенного можно сделать вывод, что по действующим Правилам СЗЗ (санитарные разрывы) для транспортных магистралей устанавливаются в случае превышения санитарно-эпидемиологических требований (не уточнено каких) и включают в себя полосу отвода. По проекту [2] – устанавливаются в случае формирования химического, физического и (или) биологического воздействия, превышающего санитарно-эпидемиологические требования, и должны находиться за границами земельных участков, предназначенных для ведения хозяйственной деятельности объектами капитального строительства, и иных объектов в соответствии с классификацией, установленной санитарно-эпидемиологическими требованиями, и оформленных в установленном порядке.

Наибольшая часть транспортных магистралей в России проходит вне населённых пунктов, поэтому воздействие ХФБФ в данном случае на население невозможно. По этой же причине невозможно использовать гигиенические нормативы для селитебных территорий как внутри полосы отвода, так и вне её [3].

Исходя из изложенного, по действующему законодательству, СЗЗ (санитарный разрыв) вне поселений могут быть установлены только в пределах полосы отвода, а по проекту их вообще не должно быть.

В случае установления границ СЗЗ (разрыва) по полосе отвода важно определиться с выбором санитарно-эпидемиологических требований. В настоящее время применяются различные нормативы для производственных условий и для селитебных территорий. Поскольку полоса отвода не предназначена для проживания населения, выбор этих требований для поселений будет некорректным. Единственным и правильным будет выбор санитарно-эпидемиологических требований для производственных условий, так как полоса отвода является одной из рабочих зон персонала, обслуживающего транспорт и расположенные на ней транспортные объекты [3].

Решение вопроса установления СЗЗ вне населённых пунктов может быть найдено, в качестве примера, на основании оценки воздействия шума транспортных магистралей в рамках специальной оценки условий труда



на персонал, находящийся постоянно или временно на полосе отвода.

На железнодорожном транспорте шум в пределах полосы отвода вне населённых пунктов формируется в основном за счёт движения поездов. Выделяют три основные группы шумообразования:

- шум качения (преобладает в диапазоне скоростей 60–300 км/час);
- шум оборудования (50–60 км/час);
- аэродинамический шум (свыше 300 км/час) [4].

Конкретные показатели шума зависят от типов поездов. Так, пассажирские поезда при скорости движения 30–120 км/час создают шум в пределах 78–88 дБА, электропоезда при скорости 40–120 км/час – 76–90 дБА, а высокоскоростные поезда типа «Сапсан» при скорости 100–220 км/час – 68–86 дБА [4–7].

Интенсивность шума зависит от скорости движения состава. Чем выше скорость, тем выше интенсивность шума [4–6].

Предельно допустимый уровень шума для рабочих мест вне зависимости от должностных обязанностей нормируется по эквивалентному уровню и составляет 80 дБА⁴. Он служит одним из критериев установления класса (подкласса) вредности в процессе проведения специальной оценки условий труда⁵.

Актуальность работы определяется необходимостью выработки критериев установления СЗЗ (санитарных разрывов).

Цель – снижение затрат на установление СЗЗ. *Задача* – изучить возможность задействования результатов специальной оценки условий труда по фактору «шум» как критерия установления границ СЗЗ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении полевых исследований измерения осуществлялись анализатором шума и вибрации «Ассистент» Total+, заводской номер 231716, свидетельство о поверке № СП 2791442, дата окончания срока поверки 21.11.2020 г.

⁴ Приказ Минтруда РФ от 24.01.2014 г. № 33н (ред. от 27.04.2020) «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению». [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/. Доступ 03.06.2021.

⁵ Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156555/. Доступ 03.06.2021.

Прямые однократные измерения проводились в мае 2020 года в соответствии с руководством по эксплуатации прибора. Время измерений полностью охватывало интервал движения поезда. Результаты трёх измерений в одной точке не различались более чем на ±3 дБ. Главная ось измерительного прибора направлялась перпендикулярно пути. Между микрофоном и источником шума посторонние предметы отсутствовали. Высота расположения микрофона 1,5–1,8 м.

Калибровка прибора осуществлялась в начале и в конце измерений калибратором акустическим «Защита-К», заводской номер 124416, свидетельство о поверке № СП 2662786, дата окончания срока поверки 26.05.2020 г.

Объект исследований – полоса отвода железной дороги на участке Москва–Химки Октябрьской железной дороги.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Транспортный шум, воздействующий на работника в пределах полосы отвода, имеет свои особенности. Прежде всего, это прерывистый (непостоянный) шум, что предполагает использование при измерении шума специфических методик.

Вне населённых пунктов скорость движения поездов более высока и создаёт шумы до 95 дБА. В пределах полосы отвода до 50 м он снижается незначительно, примерно на 0,5–1,5 дБА.

Негативное воздействие шума поездов на работника зависит не только от шума, издаваемого отдельным составом, но и от продолжительности воздействия этого фактора в течение смены. Для выяснения зависимости фактического уровня воздействия шума на работника и установления степени вредности от уровня звука, создаваемого транспортным средством, автором были произведены соответствующие расчёты для наиболее значимого диапазона 80–95 дБА с шагом 5 дБА (табл. 1).

Полученные данные наглядно показывают, что степень негативного воздействия шума зависит от времени его воздействия на работника (защита временем). Условия труда относятся ко 2 классу вредности при любом времени воздействия эквивалентного уровня звука до 80,0 дБА включительно, вплоть до полной рабочей смены. Уровень звука в 85 дБА не оказывает негативного воздействия в течение не менее 2 часов, в 90 дБА – в течение не менее 0,5 часа.

Во все иные временные интервалы фиксируется 3 класс вредности, подклассы 3.1 и 3.2.

Таблица 1

**Эквивалентный уровень шума и степень вредности для персонала
в зависимости от времени воздействия (составлено автором)**

Показатели	Время воздействия, час								
	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Шум, дБА	68,0	71,0	74,0	75,7	77,0	78,0	78,8	79,4	80,0
Класс (подкласс)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Шум, дБА	–	76,0	79,0	80,7	82,0	83,0	83,8	84,4	85,0
Класс (подкласс)	–	2	2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Шум, дБА	78,0	81,0	84,4	85,7	87,0	88,0	88,8	89,4	90,0
Класс (подкласс)	2	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Шум, дБА	83,0	86,0	89,0	90,7	92,0	93,0	93,8	94,4	95,0
Класс (подкласс)	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Таблица 2

**Диапазоны измерения шума на рабочих местах персонала,
занятого на объектах полосы отвода [8; 9]**

Наименование рабочего места (профессии, должности)	Шум, дБА	Класс (подкласс) условий труда по шуму	
		при защите временем	по результатам фактических измерений
Рабочий по уборке территории	58–73	2	2
Бригадир (освобождённый) по текущему содержанию и ремонту пути	65–81	2	2
Обходчик пути и искусственных сооружений	65–81	2	2
Оператор по путевым измерениям	65–81	2	2–3,1
Мастер дорожный	65–81	2	2
Монтёр пути	70–80	2	2–3,2
Ремонтник искусственных сооружений	74–94	2	2–3,2
Тракторист (Беларус-922)	60–75	2	2

Представленные вредные условия труда располагаются на графике выше линии ПДУ (рис. 1).

Эта же тенденция сохраняется и для подрядных организаций, выполняющих работы по содержанию земельных участков полосы отвода и охранных зон, борьбе с нежелательной растительностью и уборке мусора.

Для выяснения причины снижения класса вредности по шуму произведён расчёт времени воздействия шума проходящих поездов на примере участка Москва–Химки в течение дня 19.05.2020 года.

Количество пассажирских составов, проходящих за одни сутки в обе стороны – 268.

Продолжительность движения – 20 часов 57 минут или 1257 минут.

Время непрерывного прохождения всех поездов относительно одной точки, всего – 4,27 %.

При восьмичасовом рабочем дне – это составит 20,5 минут, с учётом увеличения интенсивности движения поездов в часы пик (+30 %) – до 26,7 минут.

Сопоставляя полученные данные с таблицей 1 и рисунком, можно прийти к выводу, что при данной интенсивности движения поездов шум, создаваемый при их движении до 90 дБА включительно, не выходит за границы гигиенических нормативов⁶ и соответствует 2 классу вредности.

Анализ фактических результатов специальной оценки условий труда в ОАО «РЖД» показал, что в абсолютном большинстве случаев на рабочих местах работников, находящихся полную или неполную рабочую смену на полосе отвода, устанавливаются по фактору «шум» допустимые условия труда, то есть, 2 класс вредности. Итоговый класс (подкласс) формируется в основном по показателю «тяжесть» и соответствует классу 3 подклассам 3.1 и крайне редко 3.2 (табл. 2) [8; 9].

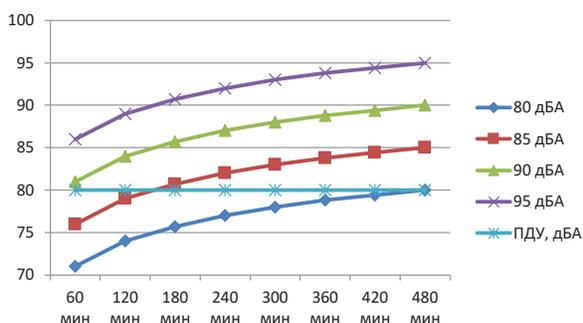
Измеренные и рассчитанные значения эквивалентного уровня шума на полосе отвода

⁶ СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>. Доступ 03.06.2021.





Рис. 1. Условия труда в зависимости от величины эквивалентного уровня звука и времени его воздействия (номограмма) (составлено автором).



показали, что они находятся в границах санитарно-гигиенических требований для персонала, работающего на этой территории³.

Применение иных нормативов, ограничивающих уровень шума на полосе отвода вне поселений, невозможно по причине отсутствия соответствующих нормативно-правовых актов для этой сферы жизнедеятельности.

Установление границ СЗЗ по предлагаемому проекту изменений в Правила установления СЗЗ [2] невозможно, так как измеренные и рассчитанные значения ниже норматива ПДУ⁶.

ВЫВОДЫ

С увеличением эквивалентного уровня шума с 80,0 до 95,0 дБА степень вредности для работников, занятых на полосе отвода, увеличивается пропорционально со 2 класса вредности до класса 3 подклассов 3.1 и 3.2.

Сокращение времени воздействия шума (защита временем), превышающего гигиенические нормативы, позволяет снизить расчётное значение до безопасного уровня.

Установление СЗЗ (санитарного разрыва) для железнодорожных магистралей вне населённых пунктов по действующему законодательству возможно по показателю «шум» в границах полосы отвода.

Показатель «шум» не может служить основанием установления СЗЗ в логике Проекта [2], так как измеренные и рассчитанные значения ниже норматива ПДУ⁶.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Курепин Д. Е. Необходимость разработки типовых зон санитарного разрыва для объектов железнодорожной инфраструктуры // Защита от повышенного шума и вибра-

ции. Сб. докладов V Всероссийской научно-практ. конференции с международным участием. – 18–20.03.2015 г. – СПб., 2015. – С. 404–408. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23192263>. Доступ 03.06.2021.

2. О внесении изменений в Правила установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон. Проект. – Постановление Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://regulation.gov.ru/projects#npa=84928>. Доступ 03.06.2021.

3. Бурак В. Е., Самойлов В. В. Полоса отвода железнодорожных магистралей как санитарный разрыв // Проблемы безопасности российского общества. – 2020. – № 2. – С. 19–24. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43844267>. Доступ 03.06.2021.

4. Куклин Д. А. Снижение шума подвижного состава железнодорожного транспорта в источнике образования и на пути распространения. [Электронный ресурс]: <http://ivas.su/poleznye-stati/snizhenie-shuma-podvizhnogo-sostava-zhel/>. Доступ 03.06.2021.

5. Белая Е. Н. Транспортный шум как фактор формирования акустической среды городских поселений // Новая наука: Современное состояние и пути развития. – 2016. – № 117-2. – С. 122–125. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26564247>. Доступ 03.06.2021.

6. Седякин П., Белая Е., Щитов Д. Современные факторы формирования акустической среды городских территорий // Защита от повышенного шума и вибраций. Сб. докладов VII всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 19–21.03.2019 г. – 2019. – С. 630–638. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37421222>. Доступ 03.06.2021.

7. Бойко Ю. С. Расчёт и снижение шума высокоскоростных поездов на селитебной территории // Автореф. дис... канд. тех. наук. – СПб.: Военмех, 2016. – 24 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30447876>. Доступ 03.06.2021.

8. Федеральная государственная система учёта результатов специальной оценки условий труда. [Электронный ресурс]: <https://akot.rosmintrud.ru/sout/Statistics/varorganization>. Доступ 03.06.2021.

9. Бурак В. Е., Церковникова Е. Н. Анализ результатов оценки условий труда монтажника пути // Наука и образование транспорту. Сб. статей XII междунар. науч.-практ. конф. 06–07.11.2019 г. – Самара, 2019. – С. 96–98. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43073321>. Доступ 03.06.2021. ●

Информация об авторе:

Бурак Василий Евгеньевич – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер по охране труда ООО «Группа компаний 1520», Москва, Россия, v.burak@1520.ru.

Статья поступила в редакцию 05.11.2020, одобрена после рецензирования 24.01.2021, дополнена 03.06.2021, принята к публикации 17.06.2021.

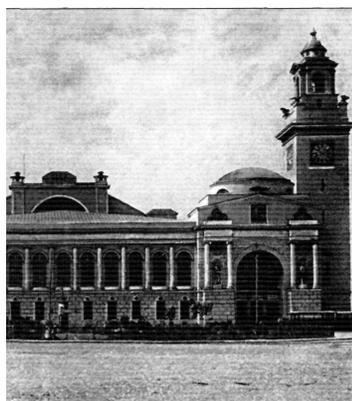
Т



ВОКЗАЛЫ

132

История вокзалов... К этой теме можно возвращаться бесконечно. На этот раз речь идёт об истории вокзалов на первых российских железных дорогах: в Царском Селе, Санкт-Петербурге и Москве.



КОЛЕСО ИСТОРИИ



ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА

149

В 1911 году отмечался юбилей российских железных дорог: им исполнилось 75 лет. Это был хороший повод подвести некоторые итоги их развития и сравнить с зарубежными. Не совсем в современных терминах, хотя и уже тогда не в первый раз, прозвучал тезис о связанности территории страны.





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ
УДК 621.3(09):378
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-19-4-15>

Исторические архитектурные шедевры – российские столичные железнодорожные вокзалы



Дмитрий ЛЕВИН

Дмитрий Юрьевич Левин

Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов, Москва, Россия.

✉ levindu@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

По мнению автора статьи, появление первых железнодорожных вокзалов сразу стало самым ярким образом современности. История архитектуры российских вокзалов начинается тогда же, когда была построена первая железная дорога в России, которая соединила Санкт-Петербург с Павловском. Прототипом для вокзалов стали уже существовавшие до этого почтовые станции и путевые дворцы.

Вокзал – это прежде всего история, в которой сталкиваются и самые интересные архитектурные сюжеты, и сюжеты социальные. Пассажиру вокзал предлагает самые яркие образы современности. Архитекторам, которые проектировали первые вокзалы, приходилось решать проблемы, с которыми никто и никогда раньше не сталкивался: перекрытие дебаркадера, перроны, освещение, вентиляция,

акустика... Всё это делало вокзал самым техничным архитектурным жанром своего времени. И в этом смысле вокзальная архитектура – очень интересный сюжет, в котором всё очень быстро меняется, и где все человеческие отношения очень обострены. Поэтому вокзал – это концентрированный слепок общества. Поэтому по вокзалу всегда очень хорошо видно, как обустроено общество. Например, на до-революционных вокзалах очевидно разделение пассажиров по классам, причём это заложено в самой архитектурной программе. Или история с императорскими павильонами, с императорскими комнатами... Вокзал – это, прежде всего, образ современности, мобильности и «пограничная история» между страной и городом. Особенно это интересно в случае со столичными вокзалами.

Ключевые слова: железнодорожный вокзал, железнодорожные пути, дебаркадер, вантовый дебаркадер, перрон, архитектура вокзалов, водосборная башня, арочные фермы.

Для цитирования: Левин Д. Ю. Исторические архитектурные шедевры – российские столичные железнодорожные вокзалы // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 132–148. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-15>.

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

Первые железнодорожные вокзалы¹ во всех странах появились на первых железных дорогах и стали неотъемлемой частью крупных городов, а часто и их достопримечательностью. Здания вокзалов создавали многие известные архитекторы – И. И. Струков, Н. И. Орлов, Р. Н. Кузьмин, К. А. Тон, А. В. Щусев, Ф. О. Шехтель и другие. В знак признательности, например, перед Московскими вокзалами установлены бюсты архитекторов. В оформлении фасадов и внутренних залов участвовали И. К. Рерих, Е. Е. Лансере, Б. М. Кустодиев и другие известные художники.

Строительство железнодорожных вокзалов составляет своеобразную страницу в истории архитектуры. Первоначально архитектура вокзалов испытывала влияние традиционных общественных зданий. С конца XIX века в России и за рубежом велись поиски функционально обоснованных типов зданий вокзалов. В этом отношении примером могут служить здания вокзалов, построенных по проекту К. А. Тона в Москве и Санкт-Петербурге – ко-

нечных пунктах Петербурго-Московской железной дороги, а также Рижский вокзал в Москве. В 60-е годы XIX века и позже здания вокзалов на небольших станциях часто строились деревянными. Обилие резных деталей делало их очень нарядными. Такие строения украсили железную дорогу между Санкт-Петербургом и Москвой. Проект главного вокзального здания в городе Иваново-Вознесенске представлял немалую художественную и архитектурную ценность и был использован с небольшими изменениями в нескольких городах этого края. В крупных городах строились краснокирпичные здания вокзалов. Например, в Москве Смоленский (Белорусский) вокзал, возведённый в 1870 г. В конце XIX–начале XX веков здания вокзалов, построенные в стиле модерн, становятся важными элементами городской архитектуры, часто формируют облик площадей. Яркими примерами таких строений служат здания Малой московской окружной дороги, на которой в 1903–1908 гг. было построено 15 станций.

Неповторимым архитектурным ансамблем в Москве является площадь трёх вокзалов. В 1987–1990-х гг. вокзалы реконструированы с целью обновления облика, расширения помещений для пассажиров, улучшения их обслуживания, оборудования современными техническими средствами.

¹ От англ. *Vauxhall* – название парка с концертным залом для увеселительной эстрадной программы, находившегося в XVII веке в пригороде Лондона; в русском языке это слово впервые ассоциировалось со станционным зданием в г. Павловске.

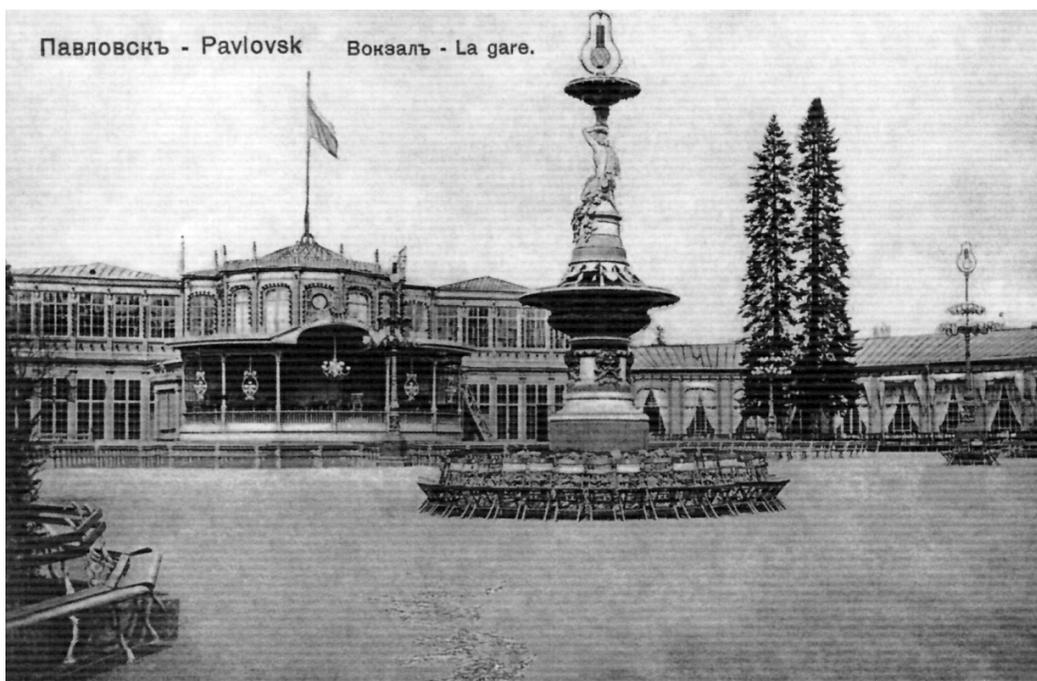


Рис. 1. Вокзал в Павловске.



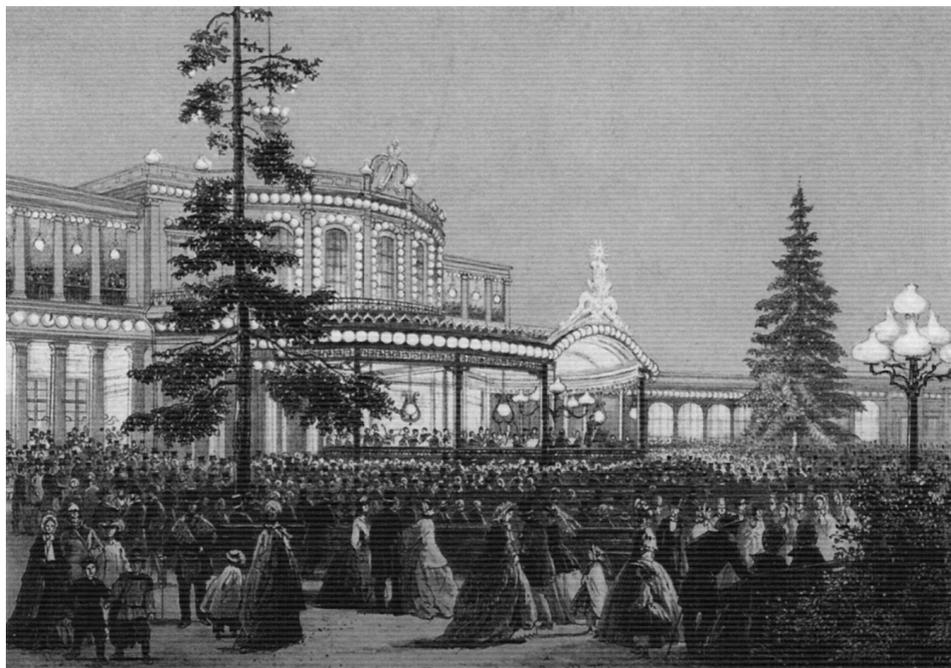


Рис. 2. Бал в Павловском вокзале.

Многие замечательные в архитектурном отношении вокзалы были разрушены в годы войн и восстановлены в прежнем виде, либо созданы заново. Тем больший интерес вызывает первоначальный вид многих знаменательных вокзалов.

ИСТОРИЯ ВОКЗАЛОВ В РОССИИ²

Первый вокзал

Вокзал в городе Павловск (рис. 1) был построен на конечной станции первой железной дороги Российской империи – Царско-сельской железной дороги. 23 мая 1838 г. в Павловском парке было открыто для публики концертное здание с рестораном, построенное по проекту архитектора А. И. Штакеншнейдера. Павловский парк принадлежал Великому князю Михаилу Павловичу, который по просьбе брата – императора Николая I, разрешил проложить через парк железную дорогу. Павловский вокзал стал первым постоянным концертным залом России, в котором выступали симфонические оркестры. Именно там выступали выдающиеся музыканты Иоганн Штраус (сын), А. К. Глазунов,

Р. М. Глиэр, А. К. Лядов, Н. А. Малько, В. И. Сук, В. В. Андреев, С. С. Прокофьев, Л. В. Собинов, Н. Н. и М. И. Фигнеры, И. В. Ершов, А. Д. Вяльцева, Ф. И. Шаляпин.

После пожара 1844 г. вокзал был восстановлен и открыт. В 1860, 1871, 1884 годах вокзал снова перестраивался и расширялся. В 1875 г. по проекту великого Н. Л. Бенуа неподалеку был построен Павловский театр. После 1918 г. музыкальный вокзал и театр составили комплекс. Во время Великой Отечественной войны здание вокзала было уничтожено.

Императорский вокзал в Царском Селе

В конце XIX века постоянной резиденцией императора Николая II стал Александровский дворец. Сразу же возникла государственная необходимость в обеспечении транспортного сообщения между Петербургом и Царским селом для Государя и царской семьи. Имеющаяся царскосельская ветка железной дороги была перегружена и не могла обеспечить необходимую безопасность и комфорт великосветским особам. Поэтому в 1899 г. было принято решение строить собственный императорский путь от Витебского вокзала до Александровского дворца. Для этого была выделена астрономическая по тем временам сумма в 4 млн царских рублей.

² К теме архитектуры и истории вокзалов журнал обращался неоднократно. См., напр.: Владимиров Ю. В. С вокзала в маскарад лететь... // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 6. – С. 272–279; Овчинникова Е. А. Биография вокзала // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 204–210. – *Прим. ред.*



Рис. 3. Императорский вокзал в Царском селе.

В 1902 г. «императорский путь» был сдан в эксплуатацию, но Императорский вокзал (рис. 3) был построен только в 1912 г., на месте сгоревшего деревянного императорского павильона. К вокзалу примыкала двухсотметровая пассажирская платформа, на которую сходили члены императорской семьи, иноземные гости и высокопоставленные чиновники, прибывающие в Царское Село.

Вокзалы первой железнодорожной магистрали России

В начале 1842 г. Николай I повелел приступить к строительству железной дороги между Санкт-Петербургом и Москвой. Строительство дороги началось летом 1843 г. по проекту П. П. Мельникова, Н. О. Крафта и А. Д. Готмана. И уже 5 (17) мая 1847 г. в 10:00 первый пассажирский поезд отправился до села Колпино от места, где впоследствии был возведён Николаевский вокзал (до 1924 г. – Николаевский, до 1930 г. – Октябрьский, затем до настоящего времени – Московский).

Николаевский вокзал (рис. 4) строился в 1844–1851 гг. по проекту архитектора К. А. Тона, при участии Р. А. Желязевича. Сооружение сочетает в себе формы итальянского ренессанса и древнерусские мотивы. Новшеством того времени было решение

с металлическим покрытием над концевыми участками железнодорожных путей и примыкающими пассажирскими платформами. Если само пассажирское здание вокзала спроектировано архитектором Тоном в традиционных формах и конструкциях, то дебаркадер не имел аналогов в архитектуре прошлого. Треугольные фермы покрытия перрона создавали совершенно новый образ транспортного интерьера.

Здание вокзала, круглое в плане, расположено по длине вдоль всей Знаменской площади (ныне – площадь Восстания). Константин Тон использовал мотивы ратушей западноевропейских городов, башня с часами указывает направление главного входа. Активное участие в проектировании новой привокзальной площади принимал сам император.

Первым начальником пассажирской станции и вокзала Петербурго-Московской железной дороги был назначен Н. И. Миклуха (отец будущего этнографа Н. Н. Миклухо-Маклая). Его квартира находилась в самом здании вокзала, кроме того, здесь располагались конторы служащих, управление железной дороги, императорские помещения.

В 1868 г. в связи со значительно возросшим пассажиропотоком была начата реконструкция Николаевского вокзала. Был пристроен двухэтажный флигель для приёма





Рис. 4. Николаевский вокзал в Санкт-Петербурге.

багажа, правое крыло здания соединили с царскими покоями. В 1898 г. со стороны Лиговского проспекта было пристроено здание Конторы Николаевской железной дороги из красного кирпича.

В конце 1950-х годов по проекту архитектора В. И. Кузнецова здание Московского вокзала было реконструировано и расширено, к правому крылу был пристроен новый флигель. В 1967 г. был открыт новый «Световой зал» (также по проекту В. И. Кузнецова), что увеличило площадь вокзала на 2700 квадратных метров. Внутри зала был установлен памятник Ленину работы скульптора Л. А. Месса. В 1976 г. площадка между перронами и световым залом была перекрыта алюминиевым навесом. В 1993 г. бюст Ленина в зале прибытия был заменён бюстом Петра I работы А. С. Чаркина и В. В. Оленева. В начале 2000-х гг. вокзал был отреставрирован.

Ленинградский вокзал (до 1855 г. – Петербургский, в 1855–1923 гг. – Николаевский, в 1923–1937 гг. – Октябрьский) (рис. 5) – старейший из девяти вокзалов Москвы. Здание вокзала построено в 1844–1851 гг. по проекту К. А. Тона архитектором Р. А. Желязевичем. Для вокзала строительная комиссия выбрала Каланчёвский пустырь на северо-восточной окраине Москвы.

Возведение Петербургского вокзала в Москве началось в 1844 г. под руководством

управляющего путями сообщения П. А. Клейнмихеля, у которого с Константином Тоном случались разногласия. Так, Клейнмихель требовал использования кирпичной кладки с тонкими швами, что казалось ему наиболее эстетичным. Архитектор отказался исполнять это указание, опасаясь нарушения монолитности стен и возникновения трещин. В результате конфликтов в 1847 г. работы перепоручили Р. А. Желязевичу, который отличался большей уступчивостью.

Строительство было окончено в 1851 г. Здание являлось стилистической парой вокзала в Санкт-Петербурге, но отличалось меньшими размерами. Центральную часть здания занимал просторный двусветный вестибюль. Помещение вокзала украшал дубовый паркет и мраморные шведские печи. Императорские залы имели массивные дубовые двери, их оборудовали зеркальными шкафами. Второй этаж главного корпуса вокзала отвели под квартиры служащих.

Со стороны заднего фасада от здания отходило две платформы. Вдоль правого перрона располагался корпус с залами ожидания и вокзальными службами. Для разных слоёв населения предусмотрели отдельные помещения, одинаковые по своему назначению. Левую платформу отделили от внешнего пространства стеклянными арками. К ней примыкали два дополнительных павильона. Один предназначался для обслуживания цар-



Рис. 5. Николаевский вокзал в Москве.

ской семьи, другой – для распределения и отправки багажа. Обе платформы связывали поперечный перрон и вестибюль. Железнодорожные пути объединили поворотными кругами для перестановки локомотивов. Вантовый дебаркадер перекрыли шедовым металлическим потолком – это было новшеством того времени.

Реконструкция Ленинградского вокзала проходила в 1934 г. Расширили кассовую зону, в бывших императорских залах сделали комнату матери и ребенка. В 1949 г. провели реставрацию помещений вокзала. В середине 1970-х годов прошла следующая реконструкция и перепланировка вокзала (рис. 6). Положили новые станционные пути, расширили



Рис. 6. Ленинградский вокзал.



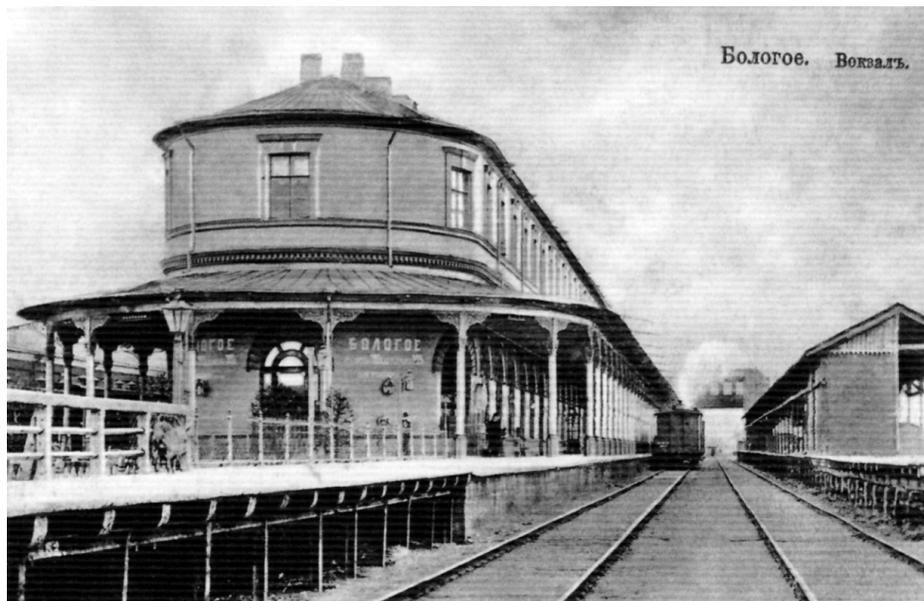


Рис. 7. Вокзал станции Бологое.

здание, надстроили третий этаж. В 1989–1993 гг. во время реставрации удлиннили платформы, соорудили навесы над перронами, усилили освещение. В 2008–2013 гг. в ходе реконструкции площадь вокзала увеличили на 8000 м², из них 3000 предназначены для коммерческого использования, изменили планировку вокзала, отремонтировали главный фасад здания, демонтировали бюст Ленина.

Вокзал на станции Бологое (рис. 7), открытый в 1851 г., построен по типовому проекту архитектора Р. А. Желязевича – помощника К. А. Тона. Такие же вокзалы были возведены в Малой Вишере и Твери (рис. 8), а также минимально отличающиеся в Любани, Окуловке, Спирове и Клину.

Одноэтажное кирпичное здание вокзала длиной 115 м с платформами с обеих сторон расположено между железнодорожными путями. В 1877 г. у здания вокзала надстроен второй этаж. Во время Великой Отечественной войны станция Бологое подвергалась жестоким бомбардировкам. В мае 1985 г. за заслуги в обеспечении Советской Армии и Военно-морского флота в годы Великой Отечественной войны станция Бологое награждена орденом Отечественной войны I степени.

Вокзал на станции Тверь (рис. 8) построен в 1845–1848 гг. по типовому проекту вокзала первого класса архитектора Р. А. Желязевича. Здание построено по островной системе, между двумя главными

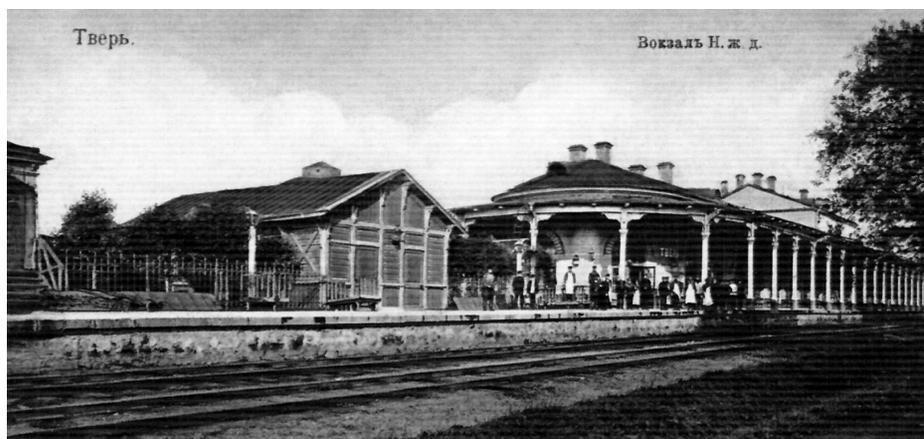


Рис. 8. Вокзал станции Тверь.



Рис. 9. Нижегородский вокзал (ныне Курский вокзал).

путями в русско-византийском стиле с элементами флорентийской архитектуры («Брамантово окно»). Здание кирпичное отштукатуренное, двухэтажное, длиной 115 м со скруглёнными торцевыми фасадами, обведено галереей на чугунных колоннах для выхода пассажиров на перрон. Состояло из залов первого–третьего классов, кассового, багажного и телеграфного отделений, буфета, кухни. В московском крыле вокзала находилось отделение для кассирской выручки и багажа, в петербургском – императорское отделение, состоявшее из пяти комнат, игравших роль представительских учреждений, в которых проходили торжественные церемонии по случаю приезда Его величества. Напротив императорского отделения был разбит сад. В интерьере использовалась драпировка, цветные и зеркальные стекла, дубовый паркет для пола, мраморные камни, изготовленные итальянским мастером П. Катоци. Стены покрывали бумажными цветочными обоями с золочеными багетами. Двери изготавливались на заказ столярным мастером Гассе в Петербурге. На вокзале неоднократно бывали августейшие особы: Николай I, Александр III, Николай II.

В 1984–1990 гг. был расширен вокзальный комплекс, построено новое здание вокзала (береговая часть) вместимостью 2000 человек. В зале ожидания была разбита оранжерея,

в которой были собраны более 200 видов и сортов различных растений.

К началу 2000-х гг. значительная часть исторического архитектурного облика вокзала была утрачена. В частности, были утрачены интерьеры вокзала (в том числе императорская комната), навес и колонны с торцевых фасадов здания, претерпел изменения изначальный вид окон. В ходе реконструкции 2012–2015 гг. был восстановлен исторический вид фасадов и интерьер вокзала, в том числе, императорской комнаты, залов второго и третьего классов. Утраченная к началу реконструкции оригинальная метлахская плитка была заменена на аналогичную, произведённую в Великобритании, не сохранившиеся хрустальные люстры в залах были изготовлены на Тверском стекольном заводе.

Вокзалы Москвы

История *Курского вокзала* началась со строительства Нижегородской железной дороги и возведения в 1861 г. Нижегородского вокзала. Вокзал был построен вне городской черты за Камер-Коллежским валом. Такое расположение лично выбрал министр путей сообщения П. П. Мельников. Земля на территории Московского уезда стоила дешевле, а налоги и требования к организации труда были заметно мягче, чем в черте Москвы.





Рис. 10. Брестский (ныне Белорусский) вокзал в начале XX века.

Учредитель вокзала, Главное общество российских железных дорог намеревалось в будущем получить земли ближе к центру города, поэтому в документах указывало вокзал как временный, неохотно выделяло средства на строительство и ограничилось одноэтажным деревянным зданием по проекту архитектора Максимилиана Арнольда.

В ноябре 1866 г. железная дорога была продлена до Серпухова, а затем до Тулы, Орла и Курска. С ростом числа пассажиров у Нижегородского вокзала (рис. 9) появились две пристройки, но этого было все равно недостаточно: требовался новый вокзал. Обсуждение его строительства затянулось на 30 лет. Предлагалось много различных вариантов, но профинансировать их Главное управление российских железных дорог не могло.

Ситуация разрешилась после выкупа Нижегородской железной дороги государственной казной в 1884 г. и образования Московско-Курской, Нижегородской и Муромской железных дорог: Нижегородский вокзал был объединён с новым вокзалом, заложенным на Садовом кольце по проекту архитектора Н. И. Орлова.

После открытия Курского вокзала в 1886 г. Нижегородский вокзал был закрыт. В 1930-х годах была задумана реконструкция Курского вокзала, но ограничились переделкой суще-

ствующего здания в классическом стиле. В 1968–1972 гг. все-таки была проведена радикальная реконструкция. Новое здание получило двухсотметровый остеклённый фасад, разливанный сеткой алюминиевых переплетов, и оригинальную складчатую крышу с девятиметровым козырьком. Старое здание было фактически включено в состав нового, сохранив архитектурный декор в его центральной части, убранство в одном из залов ожидания и фасад, обращённый к железнодорожным путям. Здание было облицовано мрамором. В окончательный проект не вошли остеклённые полосы между пролетами крыши, которые обеспечили бы проникновение солнечного света, и 30-этажный гостиничный комплекс на южной стороне привокзальной площади. Тем не менее, новый вокзал стал крупнейшим в стране. Ежемесячно там обслуживается более 6,5 млн пассажиров.

Белорусский вокзал (в 1870–1871 гг. – Смоленский, в 1871–1912 гг. и в 1917–1922 гг. – Брестский, в 1912–1917 гг. – Александровский, в 1922–1936 гг. – Белорусско-Балтийский) (рис. 10) открыт 19 сентября 1870 г. вместе с Московско-Смоленской железной дорогой. В ноябре 1871 г. дорогу продлили до Бреста, и вокзал стал называться Брестским.

В начале 1890-х годов движение на дороге стало двухпутным, а платформа отправле-



Рис. 11. Брестский вокзал (ныне Белорусский вокзал).

ния была всего одна. К реконструкции вокзала, уже не вмещавшего всех пассажиров, приступили лишь в 1907 г. 15 мая 1910 г. открыли правое крыло нового вокзала, а 26 февраля 1912 г. – левое (рис. 11). Автором проекта был архитектор Иван Струков. 4 мая 1912 г. железная дорога была переименована в Александровскую, вокзал стал называться Александровским в честь императора Александра Павловича.

В августе 1922 г. Александровская и Московско-Балтийская дороги были объединены в Московско-Белорусско-Балтийскую, поэтому вокзал был переименован в Московско-Балтийский. В мае 1936 г., после очередной реорганизации железных дорог, вокзал получил свое нынешнее название – Белорусский.

В сентябре 2007 г. компания «Аэроэкспресс» начала реконструкцию для организации железнодорожного сообщения с аэропортом «Шереметьево». Новый аэровокзал, площадью 600 м², расположился в четвёртом зале Белорусского вокзала. Терминал был открыт 27 августа 2009 г. Железнодорожными экспрессами пассажиры стали доставляться до станции «Аэропорт Шереметьево».

Достопримечательностями Белорусского вокзала являются: мозаичное панно на тему Великой Октябрьской социалистической революции; портреты Воина-освободителя, Александра Невского и Георгия Жукова; ме-

мориальная доска, посвящённая первому исполнению песни «Священная война» 26 июня 1941 г.; памятник «Прощание славянки», открытый 8 мая 2014 г. на перроне.

Ярославский вокзал (с 1862 по 1870 гг. – Троицкий, с 1922 по 1955 гг. – Северный) открыт и освящён митрополитом Филаретом 18 августа 1862 г. (рис. 12). Небольшое двухэтажное П-образное здание со строгими архитектурными формами, ведущее к платформам. Крышу вокзала украшал флагшток со знаменем ведомства путей сообщения. Левый корпус занимали правление железной дороги, зал ожидания и багажное отделение, правый – залы для разных классов пассажиров.

К 1870 г. окончилось строительство железнодорожной магистрали до Ярославля, увеличился пассажиропоток, и вокзал переименовали в Ярославский. В августе 1897 г. прибывавший на перрон поезд разогнался слишком быстро. Была разбита стена здания Правления дороги. К счастью в это время там никого не было.

С увеличением пассажиропотока вокзал решили реконструировать. В 1895–1897 гг. перестроили восточное крыло вокзала и приступили к возведению водонапорной башни. В это время глава общества Московско-Ярославской дороги Савва Мамонтов был обвинён в хищении средств, и новое правление предпочло выбрать более экономичный





Рис. 12. Первое здание Ярославского вокзала.



Рис. 13. Ярославский вокзал в начале XX века.

проект. В 1900 г. здание вокзала расширили за счёт двух флигелей, однако это не решило проблему. Автором нового архитектурного замысла стал Фёдор Шехтель. Задумка архитектора в «северорусском стиле с некоторым монастырским оттенком» получила единогласное одобрение заказчиков, а также понравилась Николаю II. Шехтель сохранил часть прежнего корпуса, расширив только пассажирскую зону за счёт двух боковых корпусов со стороны Каланчёвской площади и одного

у заднего фасада. Он использовал новые для того времени материалы: железобетон и металлоконструкции, что значительно удешевило и облегчило строительство. Работы начались весной 1902 г., а завершились через два года.

Новое здание (рис. 13) превосходило старое по площади более чем в три раза. Правую часть строения занимали служебные и парадные помещения, левую – залы ожидания. Второй этаж отвели под кабинеты членов правления



Рис. 14. Одноэтажное здание Савёловского вокзала.

дороги и зал заседаний. Архитектору удалось умело использовать пространство и разместить большой вестибюль с кассами, просторные залы для пассажиров, а также оборудовать удобные выходы к платформам.

В 1922 г. вокзал переименовали в Северный, чтобы убрать напоминание о Ярославском мятеже. 20 июня 1929 г. с Северного вокзала отправился первый электрический поезд. В этот период здание не справлялось с увеличившимся пассажиропотоком и через два года его снова реконструировали. Отодвинули железнодорожные пути, увеличив внутреннюю часть строения. Из-за этого колонны над северо-восточным перроном оказались в центре зала ожидания. Созданные по эскизам Шехтеля светильники сняли, деревянную облицовку стен, скамьи и продовольственные ларьки демонтировали.

В послевоенные годы интерьеры Шехтеля перестроили. Верхнюю часть стен между полуколоннами вестибюля заполнили рельефами, изображавшими рыбную ловлю и охоту, а прежние картины Константина Коровина передали в запасники Третьяковской галереи. Название «Ярославский вокзал» вернули только в 1955 г.

Во время реконструкции 1965–1966 гг. железнодорожные пути отодвинули ещё дальше и между крыльями старого здания возвели двухэтажную пристройку со стеклянной стеной и железобетонными сводами в «духе времени».

Осенью 1961 г. дирекция Ярославского вокзала первой в городе приняла решение

взимать плату за проход провожатых к вагонам для уменьшения толчеи на перронах. В дальнейшем правило неоднократно отменяли и возобновляли. В 1995 г. планировку вокзала сильно изменили, что позволило увеличить пропускную способность объекта в два раза. Кроме того, были отреставрированы колонный и гербовый залы.

Здание Ярославского вокзала считается одним из выдающихся творений Ф. Шехтеля. Он сумел совместить элементы древнерусского зодчества с декором в стиле модерн. Особую схожесть с теремом строение приобретает за счёт соединения разных архитектурных объёмов. Благодаря такому приёму с разных точек обзора формируются уникальные образы строения, единым компонентом которых является левая башня. По задумке архитектора она и вестибюль стали основными вертикальными осями Ярославского вокзала. Их значимость подчёркивает форма кровель: над вестибюлем возвышается гребневидная крыша, а башню венчает высокий шатёр.

Массивный объём вестибюля выделен ризалитом, который призван олицетворять «городские ворота», ведущие в просторный сводчатый зал ожидания. Над входом архитектор расположил гербы главных городов Ярославской железной дороги – Москвы, Архангельска и Ярославля.

Савёловский вокзал (до 1912 г. – Бутырский) (рис. 14) был открыт 10 (23) марта 1902 г. Инициатором строительства Савёловской линии до села Савёлово с дальнейшими





Рис. 15. Старое здание Брянского вокзала.



Рис. 16. Брянский (ныне Киевский) вокзал в 1920-е годы.

планами до Калязина, Углича и Рыбинска был Савва Мамонтов, председатель Правления Общества Московско-Ярославской железной дороги. Здание было одноэтажным, двухэтажным лишь в центре, где размещались служебные квартиры. В отдалении располагалась 30-метровая водосборная башня, необходимая при паровозной тяге. Эта башня, ровесница вокзала, – единственное его историческое сооружение, дошедшее в целостности до наших дней.

Вокзал, который не реконструировался с момента его основания, обветшал, уже не справлялся с возросшим пассажиропотоком. В 1987 г. были начаты работы по его расширению. Реконструкция окончена 1 сентября

1992 г. В результате вокзал стал двухэтажным, внутренняя площадь увеличилась в 2,5 раза, стилевые особенности были сохранены.

В декабре 2012 г. завершилась очередная модернизация вокзала. Открыты новые зал ожидания, кассовый зал, ресторан, медицинский пункт. Площадь вокзала равна 6 тыс. м².

С 1999 г. – единственный вокзал в городе, обслуживающий только пригородные электропоезда. От вокзала ежедневно отправляется почти 100 электропоездов на Савёловское направление и 28–33 электропоездов на Белорусское направление. В 2020 году реализован проект Московские центральные диаметры, предусматривающий сквозной



Рис. 17. Старое здание Казанского вокзала.

скоростной маршрут Лобня–Одинцово через Савёловский вокзал.

Киевский вокзал (до 1934 г. – Брянский) сооружён в 1914–1918 гг. на месте старого здания (рис. 15). Архитектурный проект – И. И. Рерберг при участии В. К. Олтаржевского, проект дебаркадера и перекрытий залов – В. Г. Шухов, скульптор С. С. Алешин, роспись залов – художники Ф. И. Рерберг и И. И. Нивинский.

В архитектурной концепции вокзала, в росписях залов и скульптурах подчеркнута связь с Отечественной войной 1812 г. Вокзал построен в стиле неоклассицизма с элементами ампира. Общая площадь Киевского вокзала – более 36 тыс. м², пассажиропоток – более 400 чел./час (рис. 16).

К зданию вокзала примыкает дебаркадер: пространство над платформами перекрывает огромное односводчатое остеклённое арочное покрытие (длина 321 м, ширина пролёта – 47,9 м, высота – 28 м, вес конструкции – более 1250 т), имеющее форму параболы. Стальные высокие трёхшарнирные арочные фермы демонстрируют изящество величественного сооружения.

Первый поезд от уникального перрона Киевского вокзала отправился 18 февраля 1918 г.

В генеральном плане реконструкции Москвы 1935 г. для того, чтобы подчеркнуть

величие здания Киевского вокзала, было решено расширить площадь Киевского вокзала до Дорогомиловской улицы и архитектурно оформить её с учётом ансамбля Москвы-реки и Бородинского моста.

В 1940–1945 гг. с северной стороны вокзала был пристроен корпус с пригородным кассовым залом и станцией метро «Киевская». В оформлении пригородного павильона сохранена общая стилистика здания вокзала, но использованы черты венецианских палаццо.

В 2003–2004 гг. дебаркадер Киевского вокзала был перестроен по упрощённому проекту: 27 оригинальных клёпаных стальных арок перекрытий заменены сварными, оставлены только четыре клёпаные шуховские арки в торце перекрытия, примыкающие к зданию вокзала; вместо стекла в покрытии использован прозрачный поликарбонат. На башне Киевского вокзала установлены механические часы.

После реконструкции 2012–2013 годов на вокзале открыт новый турникетный зал пригородных поездов.

Первое здание **Казанского вокзала** (до 1894 г. – Рязанский) (рис. 17) было деревянным и открылось в 1862 г. для Рязанской железной дороги, с 1894 г. также и для Казанской железной дороги. В 1864 г. было построено





Рис. 18. Казанский вокзал.

но каменное здание вокзала (архитектор М. Ю. Левестам). Это было небольшое здание, имевшее общую крышу с дебаркадером над путями и платформами. Над входом высилась башня с часами. Вокзал был тесным и неудобным, а его архитектура была весьма скромной. Здание много раз перестраивалось, и когда в 1893 г. открылась Московско-Казанская железная дорога, а пассажирский поток сильно возрос, потребовалось строительство нового вокзального здания. Однако только в 1910 г. правление акционерного общества Московско-Казанской железной дороги приняло решение о постройке нового здания. Архитектор Щусев предложил проект в национально-романтическом стиле с элементами неорусского стиля и искусства Востока.

Строительство началось в 1913 г. и затмило размахом все остальные стройки московских вокзалов. В создании интерьеров Казанского вокзала участвовали Н. К. Рерих, А. Н. Бенуа, Б. М. Кустодиев, Е. Е. Лансере, З. Е. Серебрякова. В 1914–1915 гг. закончилась закладка фундаментов, строились котельная, багажное отделение, главный вход с башней. Однако во время Первой мировой войны строительство неоднократно останавливали, и лишь к зиме 1916–1917 гг. удалось построить крышу. В 1919 г. здание было сдано в эксплуатацию в упрощённом виде. В 1926 г. был завершён первый этап строительства и отделки. В 1940 г. был окончен последний этап строительства, однако многие планы Щусева остались неосуществлёнными.

В 1935 г. в бывшее багажное отделение был встроен выход со станции метро «Комсомольская». В 1950-х гг. был достроен зал пригородного сообщения, который был соединён с вестибюлем станции метро. В 1970-е годы была проведена реконструкция вокзала, в ходе которой его пропускная способность была увеличена.

В 1987–1997 гг. здание масштабно реконструировали: обновлен облик, расширены и перепланированы внутренние помещения, сооружены крыши над перронами, здание оснащено современными техническими средствами. В 2012 г. на перронах было сооружено наземное двухэтажное здание для пригородного сообщения.

Казанский вокзал (рис. 18) – сложная композиция, в которой нарочито нарушена симметрия и в которой разновеликие массы архитектурных объёмов соединены друг с другом. Архитектор, желая «согласовать» постройку с уже двумя имевшимися и в то же время придать ей индивидуальность, представил вытянутые в линию корпуса с разнообразными по функциям помещениями в виде различных по высоте, ширине и ритмике объёмов с островерхими кровлями, часовой башенкой и высокой угловой ярусной башней над основанием в виде арочного проезда. В результате вокзал кажется исторически сложившимся в течение многих лет комплексом, а не решённым одним архитектором по единому проекту.



Рис. 19. Павелецкий вокзал.

Павелецкий вокзал (рис. 19) открыт 1 сентября 1900 г. для обслуживания Рязано-Уральской железной дороги по проекту архитекторов Н. А. Квашнина и Ю. Ф. Дидерихса. Первоначально назывался Саратовским в связи с тем, что управление Рязано-Уральской дороги находилось в Саратове, лишь после Великой Отечественной войны вокзал получил нынешнее название по поселку Павелец Рязанской области.

Вокзал был построен по строительным канонам того времени: здание симметричное с повышенным центром, высокие окна, широкий и удобный подъезд. По главному фасаду со стороны площади были расположены входы, вестибюль, багажное отделение, залы для публики и помещения, назначение которых требует близости к залам – билетные кассы, телеграф, аптека и буфет. В центре высокий обширный операционный зал, отделявший помещения для пассажи-



Рис. 20. Виндавский (ныне Рижский) вокзал.



ров первого и второго классов от третьего класса.

Построено здание из кирпича на бутовом фундаменте в два этажа с третьим над купольной частью здания и с мансардами над боковыми выступающими частями. Длина вокзала составляла 83,7 м. Наружные стены имели толщину в 2,5 кирпича – запас прочности для невысокого здания изрядный. Наружная поверхность стен облицована специальным кирпичом, цоколь – тесаным камнем, вестибюль и карнизы в залах имели лепные украшения. Во всём чувствовалась основательность и солидность.

По фасаду вокзала со стороны железнодорожных путей были сосредоточены служебные помещения, место для жандармов, парадные царские комнаты и выходы на платформы.

На вокзал 23 января 1924 г. прибыл траурный поезд с телом В. И. Ленина. В 1979–1980 гг. слева от вокзала был построен павильон-музей «Траурный поезд В. И. Ленина». С 1941 по 1992 г. площадь перед вокзалом называлась Ленинской в память об этом событии. В середине 1920-х годов и сам вокзал назывался «Ленинским».

В 1980-х гг. была проведена генеральная реконструкция. Капитально обновлённый Павелецкий вокзал открылся 3 ноября 1987 г. Был сохранён стиль прежнего здания. Новый вокзал превысил старый в шесть раз по объёму и в четыре по пропускной способности, стал значительно удобнее. Теперь он в состоянии принять, обслужить и разместить в своих залах около 10 тыс. человек в час, это уровень весьма крупного транспортного комплекса.

Рижский вокзал (до 1930 г. – Виндавский, до середины 1930-х гг. – Балтийский, до 1946 г. – Ржевский) (рис. 20) построен в 1897–1901 гг. при строительстве Московско-Виндаво-Рыбинской железной дороги по проекту петербургского архитектора С. А. Бржозовского, автора Витебского вокзала Санкт-Петербурга.

В связи с небольшой загрузкой Рижского вокзала в начале 2000-х годов его предлагалось закрыть, перевести пригородные поезда на другие вокзалы и ликвидировать подъездные пути. План не был реализован.

31 июля 2004 г. на прилегающей к вокзалу территории открылась экспозиционная площадка «Музея истории развития железнодорожного транспорта Московской железной дороги». На площадке представлены экспонаты железнодорожной техники.

Железнодорожные вокзалы – крупные общественные сооружения, важные для города и страны. Зачастую, именно по ним складывается у приезжих первое впечатление о городе, а иногда в целом и о стране. Поэтому такие сооружения должны соответствовать высоким требованиям архитектурной композиции. Старинные российские вокзалы не только соответствуют этим требованиям. Их можно смело назвать архитектурными шедеврами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Явейн И. Г. Архитектура железнодорожных вокзалов. – М.: Изд-во Всесоюзной архитектуры, 1938. – 302 с.
2. Васькин А. А., Назаренко Ю. И. Архитектура и история московских вокзалов. – М.: Компания Спутник+, 2007. – 333 с.
3. Батырев В. М. Вокзалы. – М.: Стройиздат, 1988. – 214 с.
4. Бузанов С. П. Проблемы станций и узлов при скоростном транспорте. – М.: Трансжелдориздат, 1939. – 116 с.
5. Кочнев Ф. П. Пассажирыские перевозки на железных дорогах. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 351 с.
6. Балакшин П. Ф. Свердловская магистраль. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1978. – 128 с.
7. Гошадзе Г. Очерки истории железнодорожного транспорта Закавказья (1921–1946). – Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та, 1971. – 215 с.
8. История железнодорожного транспорта России / Под общ. ред. Е. Я. Красовского, М. М. Уздина. – Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб.–М.: Иван Фёдоров, 1994. – 336 с.
9. История железнодорожного транспорта России и Советского Союза. – Т. 2: 1917–1945 гг. – СПб., 1997. – 416 с.
10. История железнодорожного транспорта Советского Союза. – Т. 3: 1945–1991 гг. – М.: Академкнига, 2004. – 631 с.
11. Станции и узлы / Под ред. В. Н. Образцова. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – Ч. 1. – 316 с., Ч. 2. – 492 с. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, Международная ассоциация учёных, преподавателей и специалистов, Москва, Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 17.09.2019, актуализирована 12.02.2021, одобрена после рецензирования и принята к публикации 26.03.2021.



Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 1



Пресс-архив

Статья в журнале «Железнодорожное дело», опубликованная 110 лет назад, познакомила читателей с докладом О. А. Струве, представленным им на Торжественном общем собрании членов Императорского Русского Технического Общества 15 апреля 1911 года по случаю семидесятилетия от начала железных дорог в России, под председательством Почётного Председателя Общества Его Императорского Высочества Великого Князя Александра Михайловича.

В номере печатается первая часть доклада. Продолжение в следующем выпуске.

Ключевые слова: железная дорога, история, обеспеченность железными дорогами, связанность территории.

Ваше Императорское Высочество, милостивые государыни и милостивые государи!

«Мы терпим от избытка расстояний». Так гласили знаменательные слова, сказанные Императором Николаем I Мельникову, когда Мельников, как один из строителей железной дороги, предназначенной соединить обе столицы Империи, представлялся Государю.

В то время имелась в России одна лишь железная дорога, от Петербурга до Павловска, протяжением в 25 вёрст, но с тех пор условия изменились – и, несмотря на широко раски-

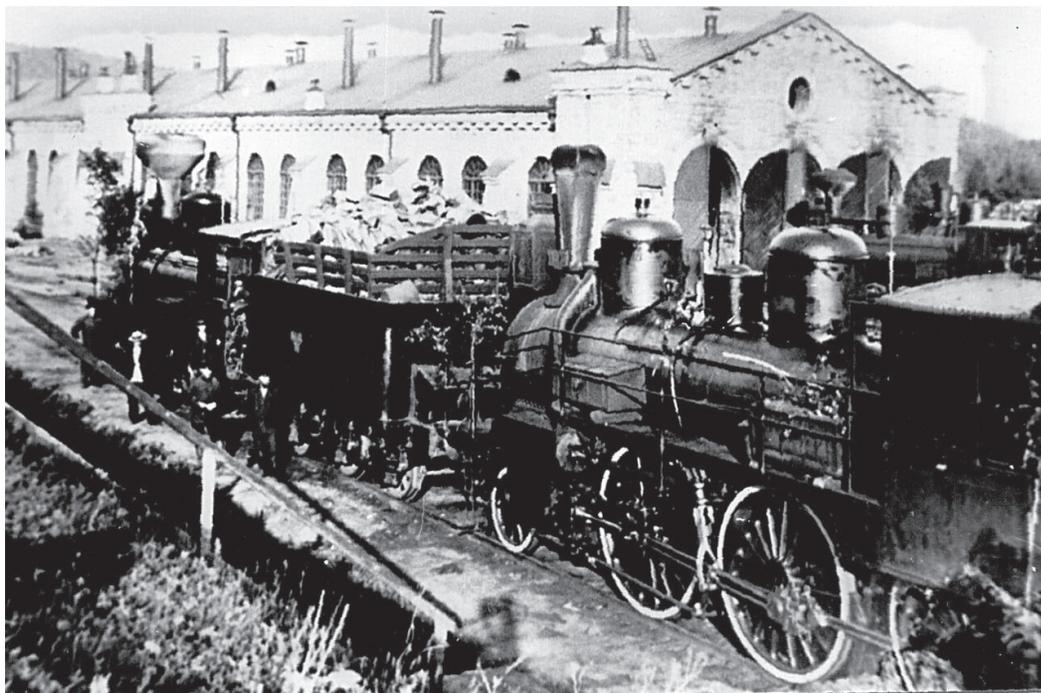
нувшуюся рельсовую сеть и на тысячевёрстные линии, прорезывавшие Россию по всем направлениям и связывающие её границы с Балтийского побережья до Тихого океана, с Чёрного до Белого морей, эти слова тем не менее сохранили поныне своё значение, не утратили поныне глубокого смысла.

Развитие нашей железнодорожной сети после первых медленных начинаний, сопровождавшихся, как и повсюду недоверием, шло ускоренным шагом, но ещё более быстрым ходом развивались внутренние производительные силы России и её потребности, росла нужда в дешёвых, по стоимости пере-

Для цитирования: Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 1 // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 4 (95). С. 149–152. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-16>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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.



возки, и обеспеченных в непрерывности своей деятельности путей сообщения, какими являлось новое мощное орудие – железная дорога.

Позвольте мне привести несколько кратких цифровых данных, характеризующих ход наделения России железными дорогами за минувшее 75-летие.

В период до 1850 года включительно было открыто в пределах Европейской России для общего пользования 468 вёрст. В десятилетие 1850–1860 – 1019 вёрст, 1861–1870 – 8734 версты, 1871–1880 – 10900 вёрст.

Начиная со следующего десятилетия железнодорожное строительство распространилось и на Азиатскую Россию. Так, в период 1881–1890 гг. сеть Европейской России увеличилась на 5932 версты, в Средней Азии выстроено 1290 вёрст.

В десятилетие 1891–1900 открыто для движения в Европейской России 16 764 вёрст, в Азиатской – 4633 версты, в 1901–1910 гг., соответственно, 8233 версты и 3742 версты.

В настоящее время происходит постройка и будет приступлено к сооружению 6287 вёрст.

Таким образом к началу текущего юбилейного года работающая железнодорожная сеть России представляет собою внушительное протяжение в 61 715 вёрст, в том числе 52 050 вёрст в пределах Европейской России,

не считая Финляндии, и 9665 вёрст в Сибири и в Средней Азии.

Одновременно и параллельно с развитием сети железных дорог выросли по ней и перевозки. Мерилом перевозочной деятельности дороги принято считать количество грузов, проследовавших, в среднем, по каждой версте дороги, иначе говоря, приходящееся на версту дороги количество пудовёрст.

В этом отношении можно отметить знаменательный факт, который иллюстрируется следующими данными, а именно: в 1884 г., при эксплуатационной длине железных дорог Европейской России в 22 500 вёрст, грузооборот выражался 25,5 миллионами пудовёрст на версту, не считая при этом хозяйственных перевозок. По мере роста сети грузооборот развивался, и в 1907 году приходится, при общем протяжении сети в 49 180 вёрст, 49,2 миллиона пудовёрст на версту; другими словами и округляя, на версту удвоенной по протяжению сети приходилось удвоенное количество пудовёрст, или общее: протяжение сети увеличилось в два раза, общий же грузооборот в четыре раза.

Не является ли этот красноречивый факт, последовательно наблюдающийся в течение минувших десятилетий, лучшим доказательством ещё далеко не исчерпанной обслуженности России железными дорогами, показателем той отзывчивости, с которой произво-

Таблица 1

Название государств	Приходится железных дорог, километров	
	на 100 кв. км	на 10 000 жителей
Франция	8,9	12,2
Германия	10,7	9,4
Великобритания	11,8	8,4
Австро-Венгрия	6,7	9,2
Соединённые Штаты Северной Америки	3,8	43,1
Европейская Россия	1,2	4,4

дительные силы страны встречают развивающуюся железнодорожную сеть, той потребности, той нужды, которая ощущается промышленной и торговой жизнью страны в путях сообщения, обеспечивающих дешёвую и непрерывающуюся в течение года перевозку массовых произведений обширного государства.

Можно с уверенностью сказать, что дальнейшее развитие сети, во всяком случае, в течение достаточно продолжительного времени должно сопровождаться, примерно, тем же ростом среднего грузооборота на версту сети, свидетельствуя о далеко неисчерпанной потребности страны в железных дорогах.

Весьма наглядным показателем, насколько Россия ещё не достаточно обслужена железными дорогами, может служить сравнение её в этой области с другими странами. Ограничиваясь лишь пределами Европейской России и сравнивая её сеть с сетью железных дорог других государств, мы имеем следующие данные о протяжении железных дорог, приходящемся в разных государствах на сто квадратных километров и на 10 000 жителей (табл. 1).

Мы видим, что Россия, при настоящем развитии её железнодорожной сети, занимает последнее место по отношению густоты сети как к пространству, так и к населённости, и это её положение не изменится существенно, если даже ввести поправку в смысле выделения обширной северной области, мало населённой и мало обслуженной железными дорогами.

Однако, вышеприведённые характеристики железнодорожной обслуженности разных стран и России по отношению к пространству и к населённости, т. е. к двум элементам, не находящимся в прямой зависимости между собой, не представляют такого показателя, который учитывал бы одновременно оба основных фактора, на совокупности которых

могло бы быть обосновано право данной страны на известное развитие в ней железных дорог.

Между тем оценка сравнительной обслуженности разных стран или отдельных областей и районов данной страны железными дорогами имеет, несомненно, существенное значение при суждениях о большей или меньшей необходимости развития железнодорожной сети в определённой местности.

Если исходить из основного принципа, что государство в общем и целом обязано стремиться к наделению железными дорогами в одинаково справедливой мере всех составных частей общей государственной территории, то, понятно, является желательным указание измерителя, который мог бы служить для оценки права определённого района на то или другое развитие железных дорог в его пределах.

Ясно, что этот измеритель должен был бы обнять целый ряд экономических условий и учесть разнообразные элементы, как-то: населённость и производительные силы местности, считаясь вместе с тем с топографическими и гидрографическими особенностями края для того, чтобы получить значение измерителя, применимого для оценки, но столь же ясно, что именно эта указанная зависимость его от разнообразнейших условий придавала бы ему настолько сложный вид, что подбор такого измерителя представился бы, если не невозможным, то, во всяком случае, крайне сложным.

Поэтому нам казалось вполне уместным, при попытке установить такой измеритель, исходить из самых основных элементов, на него влияющих, отнюдь не отрицая, что в каждом частном случае для правильной его оценки придется учесть ещё и ряд других обстоятельств.

Потребность данной страны или области в железных дорогах зависит, несомненно, при



прочих одинаковых условиях от двух факторов: от величины обслуживаемой площади и от густоты населения в пределах этой площади.

Очевидно, что данная область тем более обслужена железными дорогами, чем большее протяжение их приходится на единицу поверхности, т.е. чем больше густота сети.

Считается тем богаче наделенной железными дорогами, чем большее протяжение таковых приходится на единицу населения, например, на десять тысяч жителей или, наоборот, чем меньшее количество жителей приходится на единицу протяжения железных дорог.

Объединяя эти два условия и придавая их совокупности значение условного показателя или коэффициента обслуженности данной страны железными дорогами, мы приходим после соответствующих выкладок к выводу, что: коэффициент железнодорожной обслуженности данной страны пропорционален при прочих одинаковых условиях квадрату густоты сети и обратно пропорционален густоте населения.

Представлялось интересным проверить правдоподобность этого измерителя и проследить, в каких величинах выразится определённый таким приёмом коэффициент обслуженности для разных стран; при этом получились следующие цифры:

Для Франции	103
Для Англии	98
Для Германии	100
Для Австро-Венгрии	61
Для Бельгии	100
Для Швейцарии	154
Для Соединённых Штатов Северной Америки	149
Для Европейской России	4,3

Приведённые выводы указывают на одинаковую обслуженность Франции, Англии, Германии, Бельгии, для которых коэффициент получился около ста. В означенных странах, как известно, дальнейшее железнодорожное строительство проявляется уже в ограниченной мере, как бы указывая на удовлетворительную обслуженность их железными дорогами.

Более высокие коэффициенты обнаруживали Швейцария и Америка. Швейцария, как известно, находится в узле цельной серии

транзитных путей и излюблена туристами и путешественниками; она отличается густотой сети, почти не уступающе густоте сети Англии, притом при густоте населения всего в 80 чел. на кв. километр. В Англии на кв. км приходится 140 жителей.

Что же касается Соединённых Штатов Северной Америки, то широкое развитие сети является для них известной отличительной чертой в среде культурных стран и показателем мощной промышленности и торговли. Достаточно вспомнить, что там приходится свыше 40 км железных дорог на 10 000 жителей, т.е., примерно, в четыре раза больше чем в Германии и Франции, притом при относительно слабой густоте населения в 9 жителей на кв. километр.

Для Европейской России коэффициент обслуженности определится в 4,3, при густоте сети в 1,1 версты на 100 кв. вёрст и средней густоте населения в 27,9 жителей на кв. версту.

При этом, однако, зачтены обширные пространства Архангельской, Вологодской и Олонецкой губерний, площадью в 1 213 000 кв. вёрст при населении в 2 387 000 жителей. Исключая эту область и находящиеся в её пределах железные дороги, протяжением в 1 063 версты, коэффициент обслуженности несколько повысится и получится в 5,6, всё же значительно уступая показателям обслуженности других, нами приведённых стран.

При этом на 100 кв. вёрст получается 1,44 в. ж. д. и населённость в 36,8 жителей на кв. версту.

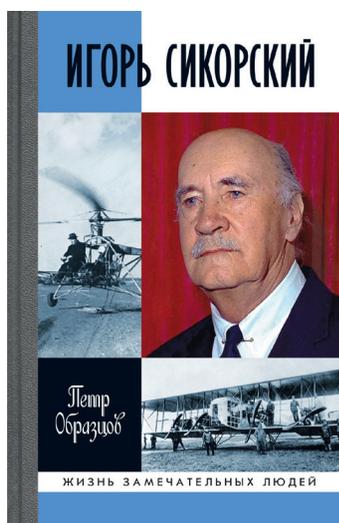
Для того, чтобы по степени обслуженности сравняться с Англией, Францией или Германией, обладающими почти одинаковой степенью обслуженности, сеть Европейской России должна увеличиться, примерно, до 190 000 вёрст, т.е. в дополнение к имеющимся и строящимся 55 570 верстам должно быть построено около 135 000 вёрст.

Для сравнения по обслуженности с Австро-Венгрией наша Европейская сеть должна расшириться до 150 000 вёрст, т.е. увеличиться, примерно, на 95 000 вёрст.

Эти цифры могут на первый взгляд показаться чрезмерными, преувеличенными, но позвольте мне осветить этот вопрос ещё с другой стороны.

О. А. Струве
(Железнодорожное дело. – 1911. – №№ 17–19. – С. 124–128) ●

Т



СТАТЬЯ-РЕЦЕНЗИЯ 154

Игорь Сикорский. Биография инженера сложной судьбы.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ 158

- *Обеспечение безопасности движения грузовых вагонов постройки КНР по железным дорогам стран Центральной Азии.*
- *Методика определения требований к местам размещения комплексов фото-видеофиксации для условий Социалистической Республики Вьетнам.*
- *Нелинейная механика упругих трансформируемых и управляемых космических систем.*
- *Техническое диагностирование профиля поверхности катания железнодорожных колёс.*
- *Совершенствование электротехнических устройств железнодорожного электроснабжения системы постоянного тока высокого напряжения.*

НОВЫЕ КНИГИ 164

Новые книги, учебники и учебные пособия российских издательств по транспортной тематике.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ | РЕЦЕНЗИЯ

УДК 629.7 (092)

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-17>

Книга об Игоре Сикорском



Михаил СУДАКОВ

Михаил Александрович Судаков

*Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации
Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия.*

✉ dzintars80@mail.ru.

Образцов П. А. Игорь Сикорский: четыре войны и две родины знаменитого авиаконструктора. – М.: Молодая гвардия, 2021. – 239 [1] с.: ил. – Жизнь замечательных людей: сер. биогр.; вып. 1875). – ISBN 978-5-235-04435-7.

Игорь Сикорский создал семейство лучших в мире вертолётов, на которых почти во всех войнах XX и XXI вв. перевозили морских пехотинцев и врачей, почту и сред-

ства тушения пожаров, негабаритные грузы и обычных пассажиров – и даже президентов США. В России этот русско-американский гений создал первые в мире огромные многомоторные самолёты «Русский витязь» и «Илья Муромец», а в Америке, где его почтительно называли Мистер Геликоптер, необыкновенные гидросамолеты, пересекавшие Атлантику и Тихий океан ещё до Второй мировой войны.

Ключевые слова: авиация, Сикорский, вертолёт, история транспорта.

Для цитирования: Судаков М. А. Книга об Игоре Сикорском // Мир транспорта. 2021. Т. 19. С. 154–157. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-4-17>.

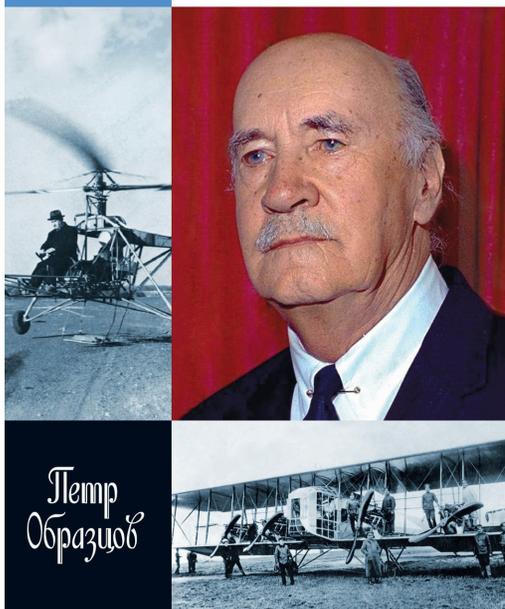
**Полный текст статьи-рецензии на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the review article in English is published in the second part of the issue.**

Авиация на протяжении XX века существенно изменила облик нашей цивилизации, открыв перед людьми невиданные ранее возможности. В связи с этим изучение различных аспектов развития отечественной и мировой авиации является важным направлением современной исторической науки. Стремление исследователей проанализировать и осмыслить наиболее значимые события в этой области способно принести большую пользу, выявить наиболее успешные социальные практики в этой сфере. Современные создатели летательных аппаратов и менеджеры, решающие проблемы управления воздушным транспортом, могут в результате ознакомления с такими исследованиями получить пищу для размышлений. В связи с этим появление в серии «Жизнь замечательных людей» биографии выдающегося российского и американского авиаконструктора Игоря Ивановича Сикорского (1889–1972) следует признать весьма своевременным.

Автор книги, П. А. Образцов, обратился к актуальной и интересной теме. На протяжении длительного времени в нашей стране почти не изучались жизнь и деятельность героя упомянутой выше книги. Это было связано с монархическими взглядами Игоря Ивановича, эмигрировавшего из Советской России весной 1918 г. на Запад. После 1991 г., в результате смены идеологических ориентиров в нашем обществе, заинтересованные российские читатели получили возможность открыть для себя многих ярких деятелей Русского зарубежья, приобщиться к их богатому наследию. И. И. Сикорский стал одним из этой блестящей плеяды. Книга писателя, переводчика, журналиста, кандидата химических наук Петра Алексеевича Образцова является важной вехой на пути изучения деятельности этого выдающегося человека.

Жизнеописание И. И. Сикорского отличается продуманной структурой. Первые семь глав посвящены жизни авиаконструктора в России (он прожил в нашей стране 29 лет). В главах 8–14 повествуется о пребывании героя книги за границей. Этот период его жизни оказался более длительным, чем первый, и продолжался 54 года. В оставшихся семи главах в фокусе внимания автора оказываются различные аспекты биографии Игоря Ивановича, связанные как с россий-

ИГОРЬ СИКОРСКИЙ



ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ЛЮДЕЙ

ским, так и с американским периодом его жизни. Эти главы позволяют по достоинству оценить многогранность деятельности героя книги и расширить представления о его семье, друзьях и коллегах. Текст книги снабжен также Приложениями (в первом из них представлен составленный В. Шошиным обзор мирового рынка вертолётов, а во втором – перечень работ И. И. Сикорского). В соответствии с традициями биографической серии, приведены также основные вехи жизни и деятельности героя книги и список посвящённых ему изданий.

Анализируя жизненный путь И. И. Сикорского, автор выявляет факторы, повлиявшие на формирование его интереса к науке и технике. Отмечается благотворное воздействие интеллектуальной среды, в которой развивался будущий авиаконструктор: он учился в знаменитой Первой киевской классической гимназии (в стенах которой получали образование, например, М. А. Булгаков и К. Г. Паустовский), Морском кадетском корпусе в столице Российской империи, Технической школе в Париже, а также в Киевском политехническом институте. Заметное воздействие на формирование миро-



воззрения И. И. Сикорского оказала также семья (например, отец главного персонажа книги, Иван Алексеевич, был известным в своё время психиатром и широко образованным человеком).

Характеризуя достижения И. И. Сикорского в первый – российский – период его жизни, П. А. Образцов обращает внимание на зарождение у своего героя интереса к созданию вертолётов уже на заре профессиональной карьеры. Автор вполне резонно объясняет случившийся вскоре переход Сикорского к созданию самолётов относительно неудачами на поприще конструирования вертолётов. Главными достижениями Игоря Ивановича до эмиграции являлись, как справедливо отмечает автор, создание на Русско-Балтийском вагонном заводе (РБВЗ) тяжёлых многомоторных самолётов «Русский витязь» и «Илья Муромец». Эти летательные аппараты оказались уникальными даже на мировом уровне. Первый из них был изготовлен в единственном экземпляре и отличался необычным для того времени высоким уровнем комфорта. На нём был установлен рекорд по продолжительности полёта. Император Николай II, воздавший должное этому летательному аппарату, наградил Сикорского золотыми часами. Биплан «Илья Муромец», спроектированный в 1913 г. на базе «Русского витязя», стал первым в мире пассажирским самолётом и выпускался серийно. В годы Первой мировой войны он был переоборудован и использовался как боевой самолёт. В конце 1914 г. была создана целая эскадра бомбардировщиков-«муромцев».

Зарубежный период жизни И. И. Сикорского автор книги осветил не менее подробно. Политические взгляды заставили авиаконструктора эмигрировать вскоре после прихода к власти большевиков, и вся его дальнейшая жизнь прошла за пределами России (сначала во Франции, а потом – на протяжении более 50 лет – в США). П. А. Образцову удалось обстоятельно охарактеризовать наиболее крупные достижения своего героя в «американский» период его жизни. Опираясь на поддержку других русских эмигрантов, И. И. Сикорский основал фирму «Sikorsky Aero Engineering Corporation». Автор показал, что в течение 1920-х и 1930-х гг. Игорь Иванович создал выдающиеся по лётно-техническим характери-

кам гидросамолёты, но всё же прекратил разработку таких летательных аппаратов.

Переход И. И. Сикорского к вертолётам в конце 1930-х гг. П. А. Образцов объяснил как появлением на рынке могучих конкурентов, создававших более эффективные самолёты (сначала в Голландии и Германии, а затем и в США), так и прозорливостью Игоря Ивановича. Последний, трезво оценивая международную обстановку того времени, не мог не понимать, сколь высоки шансы вступления США в большую войну. Применение вертолётов на фронте оказалось бы вполне перспективным, так как эти летательные аппараты должны были стать важным средством спасения раненых с поля боя. Аргументы, приведённые И. И. Сикорским, убедили руководство «головной» компании, и Игорь Иванович ступил на стезю, уже отчасти знакомую ему по дореволюционному периоду. Созданием вертолётов он занимался на протяжении долгих 30 лет, начиная с VS-300 и заканчивая S-67 Blackhawk.

Анализируя различные типы вертолётов И. И. Сикорского, автор книги со знанием дела показывает их специфику, указывает на широкое применение их не только на фронте (а они с большим успехом, если пристало так говорить о военной технике, использовались во Второй мировой, Корейской и Вьетнамской войнах), но и в мирной жизни.

Особенностью творческого почерка Сикорского-конструктора автор справедливо называет склонность последнего к созданию одновинтовых вертолётов. Приверженность ей он сохранил на протяжении долгих тридцати лет в Новом Свете (хотя в молодости отдал дань и вертолётам соосной схемы).

Изображая взлёты и падения И. И. Сикорского, П. А. Образцов создаёт рельефный образ своего главного персонажа, выявляет важные черты его личности, во многом обеспечившие выдающиеся профессиональные успехи конструктора. Автор убедительно показывает, что Сикорскому было присуще умение не сдаваться в случае временных неудач, склонность к риску и проходящее «красной нитью» через всю его долгую жизнь стремление к самосовершенствованию.

Сильной стороной книги, безусловно, является серьёзное отношение автора к понятию аппарата. Учитывая тот факт, что книги серии ЖЗЛ адресованы широкому

кругу читателей, П. А. Образцов доступно объясняет смысл тех авиационных терминов, которые используются в книге (автомат перекося, автожир, винтокрыл, конвертоплан и пр.).

Отдельно хотелось бы отметить характерный для П. А. Образцова полемический задор, оживляющий текст книги. На страницах жизнеописания И. И. Сикорского мы обнаруживаем стремление автора развенчать различные мифы, связанные с именем своего героя. Например, он вполне аргументированно утверждает, что при всех своих многочисленных заслугах Игорь Иванович всё же не был создателем вертолёта как типа летательного аппарата. Он указывает также на ошибочность распространённой точки зрения, согласно которой в фильме Ф. Ф. Коппола «Апокалипсис сегодня» были показаны геликоптеры фирмы Сикорского.

Обращает на себя внимание и такая черта авторского стиля, как склонность к отступлениям от магистральной темы той или иной главы. При этом отступления вполне обоснованы и способствуют углублению представлений читателей о рассматриваемых проблемах.

Автор не мог пройти и мимо другого важного аспекта творческой деятельности неутомимого И. И. Сикорского – его работам по философии и богословию. Но надо признать, что в этом случае авторский тон меняется: П. А. Образцов высказывается в отношении книг конструктора, написанных на «гуманитарные» темы, вполне скептически. Так, критике подвергается проведённый Сикорским анализ молитвы «Отче наш» (он был сделан Игорем Ивановичем, как отмечает автор, не на основе оригинального текста).

Следует отметить и некоторые (впрочем, небольшие) недостатки книги. Порой П. А. Образцов позволяет себе приводить не вполне проверенные сведения. Например, рассказывая об истории создания летательных аппаратов тяжелее воздуха, автор называет русского конструктора XIX в. А. Ф. Можайского генерал-майором (тогда



как тот являлся контр-адмиралом). Можно также встретить противоречивую характеристику самолёта «Русский витязь» (на с. 91 он был назван пассажирским самолётом, а ранее – воздушным судном, предназначенным для дальней стратегической разведки). Но эти недостатки не умаляют авторского вклада в изучение жизни и деятельности Игоря Ивановича.

Нужно признать, что из-под пера П. А. Образцова вышло интересное, яркое жизнеописание И. И. Сикорского, позволяющее читателям проследить весь его путь, наполненный до последних дней вдохновенным творческим трудом и неугасающим интересом к различным проблемам техники и вопросам философии.

Книга может быть полезной научным работникам и преподавателям, читающим курсы по истории транспорта, студентам средних специальных и высших учебных заведений, а также всем читателям, которые проявляют интерес к истории науки и техники. ●

Информация об авторе:

Судаков Михаил Александрович – кандидат исторических наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических наук Ульяновского института гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева, Ульяновск, Россия, dzintars80@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 26.08.2021, одобрена 07.09.2021, принята к публикации 10.09.2021.



*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/10.30932/1992-3252-2021-19-4-18>

Жайсан Иса. Обеспечение безопасности движения грузовых вагонов постройки КНР по железным дорогам стран Центральной Азии / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.

Цель данной диссертационной работы заключается в исследовании показателей динамики, безопасности движения и износа колеса и рельсов при наличии упругих скользунов постоянного контакта и диагональных тяг на сайлент-блоках, а также в определении диапазона рациональных значений параметров упругих скользунов и сайлентблоков.

Научная новизна работы заключается в разработке уточнённой, параметризированной математической модели движения грузовой тележки, оборудованного упругими скользунами постоянного контакта и диагональными тягами боковых рам по прямым и криволинейным участкам пути. Разработанная модель позволяет:

- проводить широкий спектр исследований динамических характеристик грузовых вагонов основных типов, оборудованных упругими скользунами постоянного контакта и диагональными тягами боковых рам при движении по участкам железнодорожного пути с произвольным очертанием с учётом воздействия неровностей рельсовых нитей;
- оценивать влияние отклонений в размерах деталей вагона и износов отдельных элементов ходовых частей на динамические показатели и безопасность движения грузовых вагонов;
- оценивать влияние отклонений в техническом состоянии рельсовой колеи в прямых и криволинейных участках пути на динамические показатели грузового вагона;

– осуществлять подбор рациональных параметров геометрических, инерционных, жёсткостных и демпфирующих характеристик элементов грузового вагона и тележки.

В результате проведённых исследований произведена оценка влияния боковых скользунов постоянного контакта и диагональных тяг тележки 18–9996 на ходовые качества грузовых вагонов, безопасность движения, износ в системе колесо–рельс, произведён выбор рациональных величин параметров скользунов и сайлентблоков данного типа.

Разработана математическая модель движения грузовой тележки 18–9996, оборудованной боковыми опорами постоянного контакта и диагональными тягами, по прямым и кривым участкам пути. Графическая 3D-модель разработана в программном комплексе 3D-моделирования «КОМПАС3D». Модель была импортирована в программный комплекс «Универсальный механизм» и там была реализована в виде системы твёрдых тел, связанных посредством шарниров и силовых элементов.

Разработана полностью параметризованная, обобщённая расчётная схема и математическая модель бокового скользуна постоянного контакта, диагональных тяг, прокладки адаптера, адаптированная к изменению параметров и позволяющая моделировать различные варианты конструктивного исполнения и технического состояния опор и сайлент-блоков данного типа.

Разработанная математическая модель движения вагона обладает высокой степенью детализации и учёта реальной геометрии тел, что позволяет использовать её для изучения влияния параметров боковых опор кузова непрерывного контакта и диагональных тяг на динамику и безопасность движения подвижного состава с учётом возникающих в эксплуатации износов и повреждений.

Для определения угловой жёсткости проведены теоретические и экспериментальные исследования. Проведены расчёты для идентификации параметров расчётной модели диагональных связей тележек. Полученные результаты были близки к экспериментальным данным, что показывает адекватность выбранных параметров.

Идентификация работы боковых опор кузова и диагональных тяг показала хорошую сходимость полученных результатов с результатами ранее проведённых исследований.

Сопоставление результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных по показателям динамики и безопасности движения показало их удовлетворительное совпадение. При этом расхождения не превышают 15–17 %. Это свидетельствует о достоверности полученных результатов.

На основании результатов численного эксперимента и последующего анализа всех оцениваемых показателей определены рациональные величины прокладки адаптера, которые находятся в пределах: вертикальной жёсткости – $17\text{--}20 \cdot 10^3$ кН/м, продольной жёсткости $3,5\text{--}5 \cdot 10^3$ кН/м, поперечной жёсткости – $2 \cdot 10^3$ кН/м

Произведена оценка влияния упругодиссипативных характеристик сайлентблока диагональных тяг на показатели динамики, безопасности движения. Исходя из результатов компьютерного моделирования, в качестве рациональных значений жёсткости сайлентблоков, рекомендовано принимать значения в пределах от $5 \cdot 10^3$ Н/м до $7 \cdot 10^3$ Н/м.

Результаты расчётов, выполненных для тележек, оборудованных скользящими постоянными контактами с роликами и диагональными тягами, с выбранными рациональными параметрами, показывают улучшение основных оцениваемых показателей при движении по прямолинейным и криволинейным в плане участкам пути.

Уменьшение износа в контакте колеса и рельса при наличии упругого скользящего ролика и диагональных тяг боковых рам составляет 82 % – для прямой в порожнем режиме, 36 % – для прямой в гружёном режиме, 25 % – для кривой $R = 650$ м в порожнем режиме, 30 % – для кривой $R = 650$ м в гружёном режиме, 20 % – для кривой $R = 350$ м в порожнем режиме и 36 % – для кривой $R = 350$ м в гружёном режиме.

Расчёты по оценке влияния каткового механизма на оцениваемые показатели показали, что наличие ролика способствует снижению моментов сил трения между кузовом и наддрессорной балкой при движении по кривой $R = 350$ м в среднем на 22 %, а умень-

шение по основным показателям составляет 3–11 %.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Нгуен Суан Хиен. Методика определения требований к местам размещения комплексов фото-видеофиксации для условий Социалистической Республики Вьетнам / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2021. – 23 с.

Целью диссертационного исследования является повышение безопасности дорожного движения в городе Ханой (Вьетнам) за счёт разработки методики определения требований к местам размещения комплексов фотовидеофиксации в заданных условиях финансирования.

Разработаны:

- математическая модель функционирования системы фотовидеофиксации, позволяющая дать оценку степени её влияния на характеристики транспортного потока и показатели аварийности;

- программа выбора структуры и обособления параметров системы фото-видеофиксации нарушений правил дорожного движения;

- методика определения требований к местам размещения комплексов фотовидеофиксации для повышения эффективности их работы.

Проведён анализ показателей аварийности на автомобильном транспорте в мире и во Вьетнаме. Анализ показал, что в настоящее время ДТП являются социальными проблемами, с которыми сталкиваются во всём мире. Определена роль интеллектуальных транспортных систем в повышении безопасности и организации дорожного движения.

С целью повышения БДД и качества управления движением рассмотрен мировой опыт, который показал, что некоторые страны, такие как Швеция, Япония, Сингапур и др., получили хорошие результаты от реализации государственных программ повышения эффективности и безопасности дорожно-транспортного комплекса.

Анализ состояния применения интеллектуальных транспортных систем и системы



фотовидеофиксации во Вьетнаме показывает, что практика внедрения ИТС во Вьетнаме имеет ряд существенных недостатков и проблем, таких как: отсутствие стандартов по установке и использованию комплексов фотовидеофиксации, отсутствие принципов синхронизации комплексов фотовидеофиксации в рамках системы; ограниченная функциональность комплексов фотовидеофиксации, главным образом для наблюдения за трафиком.

Обоснованы основные элементы целевой функции для оптимизации параметров установленного типа комплекса фотовидеофиксации, на основе следующих аспектов: повышения безопасности дорожного движения (за счёт уменьшения очагов аварийности) и эффективности организации дорожного движения (за счёт повышения пропускной способности); введения контроля на участках системных нарушений правил дорожного движения (нарушение скоростного режима, требований дорожной разметки, опасное и агрессивное вождение). Синтезированы 2 варианта целевой функции:

- определена максимальная эффективность установки системы ФВФ при ограниченном финансировании;
- определена максимальная приведённая эффективность установки системы ФВФ при максимальной рентабельности.

Разработана математическая модель влияния функционирования системы фотовидеофиксации на безопасность и на организацию дорожного движения. Такая модель способна определять дополнительные исходные данные с помощью оценок экспертов и метода анализа иерархий на основе имеющейся неполной информации официальных данных о ДТП во Вьетнаме.

Проведён анализ проблемных точек улично-дорожной сети города Ханой, в котором определены 10 точек с существующими камерами фотовидеофиксации и 10 точек без камер. На основе выявления суммарного взвешенного значения эффективности установки средств ФВФ определены точки, где следует устанавливать новые типы камер фотовидеофиксации.

Разработано программное обеспечение, предназначенное для оценки эффективности работы системы фотовидеофиксации. Программа проводит оценку эффективности

работы системы фотовидеофиксации по установленному критерию. С помощью разработанного ПО обеспечивается выбор наилучшего варианта системы фотовидеофиксации для реализации её целей и задач.

Разработана методика выбора эффективного решения в создании системы фотовидеофиксации с учётом установленного критерия осуществления выбора её рационального варианта. Методика позволяет установить целесообразность использования различных технических средств системы фотовидеофиксации в рассматриваемых точках.

Разработана методика определения требований к местам размещения комплекса фотовидеофиксации во Вьетнаме в заданных условиях финансирования.

Дальнейшее развитие и совершенствование подхода настоящего исследования целесообразно реализовать по следующим направлениям:

- разработка системы национальных стандартов для ИТС в целом и для системы фотовидеофиксации, в том числе и при реализации научно обоснованных методов установления государственных приоритетов для внедрения системы фотовидеофиксации;
- разработка принципов координирования действий министерств и иных органов исполнительной власти для завершения системы сбора и хранения данных по безопасности дорожного движения, с целью повышения точности анализа и исследований в настоящей предметной области и применения достоверных методов расчёта и анализа;
- разработка программного обеспечения на основе современных языков, например C++, Python, SQL, удобного в обновлении и выдаче результатов расчётов для пользователей, включая инвесторов.

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Русских С. В. Нелинейная механика упругих трансформируемых и управляемых космических систем / Автореф.

Работа представляет собой вклад в решение актуальной и важной проблемы – создание надёжных математических моделей, позволяющих решать широкий класс задач нелинейной механики упругих трансформируемых и управляемых космических систем и конструкций, содержащих стержневые и тросовые элементы.

Получены новые уравнения динамики пространственного и плоского движения космического аппарата с выпускаемым тросом в центральном гравитационном поле Земли, которые могут быть использованы для численного моделирования движения космических аппаратов с тросовыми элементами, в частности – космического аппарата с выпускаемым из него тросом как космического буксира для отработавших свой ресурс спутников, захват крупных объектов космического мусора и т. д.

Впервые получены нелинейные уравнения с аналитическими выражениями всех коэффициентов для плоского движения в подвижной системе координат космического аппарата с присоединённой системой стержней, связанных между собой упруго-вязкими шарнирами, допускающими большие углы поворота. Эти уравнения позволяют решать новый класс задач развёртывания системы стержней из сложенного в пакет транспортировочного положения в рабочее положение различными способами, в том числе – за счёт инерционных сил вращения и передвижений космического аппарата.

Получены новые уравнения нестационарного поворота и нелинейных колебаний в плоскости крена космического аппарата с двумя упругими многосекционными панелями солнечных батарей. На основе этих уравнений можно проводить численную наземную отработку развёртывания панелей под действием предварительно напряжённых пружин в узлах, соединяющих секции.

Предложена функциональная схема и разработана математическая модель циклически симметричной антенны зонтичного типа, состоящей из гибких радиальных многозвенных стержней, связанных между собой в узлах по параллелям растяжимыми тросами. Разработан новый метод решения обратной нелинейной задачи квазистатического

формообразования антенны после развёртывания радиальных стержней за счёт их изгиба под действием усилия, создаваемого демпфирующим гидроцилиндром с учётом реакций растяжимых тросов. Это будет способствовать созданию развёртываемых в космосе крупногабаритных антенн.

Впервые получены уточнённые уравнения термоупругих изгибных колебаний тонкостенного стержня-удлинителя с круговым поперечным сечением, соединённого с подвижным космическим аппаратом и подвергающегося солнечному нагреву с учётом изменений углов падения солнечных лучей за счёт поворотов элементов поверхности упругого стержня и с учётом внешнего и внутреннего теплоизлучения. Уравнения используются для расчёта нестационарных термоупругих колебаний стержня с космическим аппаратом при выходе его из тени.

Представлен подход получения уравнений движения упругих составных нелинейных систем с геометрическими связями на основании принципа возможных перемещений путём использования уравнений в связанных подвижных координатах и в обобщённых координатах для отдельных свободных подсистем с учётом неизвестных реакций взаимодействия и присоединения к этим уравнениям условий связи. Решение этих дифференциально-алгебраических нелинейных уравнений можно получить с помощью известных стандартных алгоритмов интегрирования для «жёстких» систем.

Разработан новый подход к решению терминальных задач пассивного силового и кинематического управления упругими, в общем случае нестационарными и нелинейными, системами с использованием метода Бубнова-Галеркина во временной области при их конечных передвижениях за определённое время из одного состояния (покоя или движения) в другое состояние с устранением колебаний в конце операции. Задачи для линейных систем с постоянными параметрами решаются путём разложения по собственным формам колебаний с использованием точных решений уравнений в нормальных координатах для нескольких низших форм, подлежащих устранению. При этом управляющее воздействие ищется в виде конечного ряда простых финитных функций с неизвестными коэффициентами, которые определяются из начальных и конечных условий.



Предложен новый способ «настройки» нескольких низших собственных частот колебаний линейных систем с постоянными параметрами, многократно выполняющих однотипные операции, как быстродействующие манипуляторы, для устранения колебаний в конце каждой операции с использованием простой управляющей функции с одним неизвестным множителем.

01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Работа выполнена в Институте прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН), защищена в Московском авиационном институте (национальный исследовательский университет).

Сахаров Р. А. Техническое диагностирование профиля поверхности катания железнодорожных колёс в процессе эксплуатации / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 18 с.

Цель исследования – повышение безопасности движения поездов путём технического диагностирования критических состояний структурной неоднородности металла профиля поверхности катания и близлежащих слоёв цельнокатаных колёс грузовых вагонов (ЦКГВ) непосредственно в процессе эксплуатации (при движении поезда).

В результате выполнения диссертационной работы определено, что существующие системы технического диагностирования ЦКГВ на сети железных дорог из-за специфики их эксплуатации не могут обеспечить оценку структурной неоднородности металла ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ во время эксплуатации, а, следовательно, и адекватную оценку остаточного технического ресурса.

Сформирован перечень требований к бортовому оборудованию, с помощью которого осуществляется техническое диагностирование ППК во время эксплуатации.

Разработаны методики оценки структурной неоднородности металла профиля поверхности катания и близлежащих слоёв ЦКГВ с возможностью определения их преддефектного состояния и прогнозирования остаточного технического ресурса на основе:

- усовершенствованного магнитовариационного метода контроля применительно к

задачам технического диагностирования анизотропных объектов, например, железнодорожных колёс;

- результатов экспериментальных исследований по оценке структурной неоднородности ППК в условиях вагоноремонтного депо, лабораторий ПГУПС и ДЦНТИ, подтверждающих возможность качественной и количественной оценки структурного состояния металла ППК и близлежащих слоёв;

- полученных данных по индукции собственного магнитного поля ППК и близлежащих слоёв колёс, которые могут считаться критериями и параметрами основных дефектов, относящихся как к внезапному, так и постепенному механизму их образования и оказывающие наибольшее влияние на техническое состояние ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ.

Разработано устройство технического диагностирования ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ, позволяющее повысить точность регистрации дефектов, что связано с выявленной взаимосвязью магнитного и структурного состояния металла, благодаря чему было обосновано применение физических критериев для оценки конфигурации магнитного поля вблизи возможных зон концентрации напряжений ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ.

Даны и обоснованы научно-технические предложения и рекомендации по применению разработанного устройства и методики оценки структурной неоднородности металла ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ.

Подтверждённая экспериментально зависимость между значениями твёрдости ППК и близлежащих слоёв ЦКГВ и значениями индукции магнитного поля B над ППК колеса показывает, что напряжения в приповерхностных слоях обода колеса и поверхность отклика сигнала магнитного поля B коррелируют в плоскостях, соответствующих плоскостям скольжения кристаллической решётки структуры металла.

Основным экономическим эффектом является эффект от автоматизации процесса технического диагностирования в режиме реального времени. Показано, что техническое обслуживание и ремонт ВКП по фактическому состоянию по сравнению с традиционным позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы.

05.22.07 – *Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.*

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Степанова К. К. Совершенствование электротехнических устройств железнодорожного электроснабжения системы постоянного тока высокого напряжения / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 24 с.

Целью исследования является повышение производительности и энергоэффективности электрической тяги постоянного тока на основе увеличения уровня напряжения, применения достижений силовой электроники и цифровых технологий.

В диссертационной работе содержится решение научно-технической задачи, имеющей значение для совершенствования электротехнических устройств железнодорожного электроснабжения на основе системы постоянного тока высокого напряжения. Изложены научно обоснованные решения, которые позволяют повысить технико-энергетическую эффективность системы электрической тяги, включающей подсистемы тягового электропривода, электрического подвижного состава и подсистемы тягового электроснабжения постоянного тока.

Предложена система электрической тяги постоянного тока высокого напряжения, позволяющая реализовать энергоэффективное и безопасное электрообеспечение высокопроизводительных систем движения поездов на железнодорожном транспорте. Установлено, что эффективность применения постоянного тока высокого напряжения по сравнению с системой переменного тока 25 кВ (2х25 кВ, 50 Гц) достигается за счёт повышения КПД контактной сети примерно на 6–8 %, снижения расхода меди на сооружение контактной сети примерно на 20 %, упрощения контактной сети вследствие отсутствия нейтральных вставок; увеличения расстояния между тяговыми подстанциями и уменьшения их количества на электрифицированной линии; снижения отрицательного влияния на систему внешнего электроснабжения; отсутствия необходимости установки компенсирующих устройств реактивной мощности.

Установлен уровень высокого напряжения в контактной сети постоянного тока, при котором система постоянного тока по энергетической эффективности приближается к показателям системы однофазного переменного тока. Минимальным значением такого уровня является 18 кВ. Для повышения эффективности рекомендуется система постоянного тока 24 кВ и выше до 35 кВ в зависимости от условий применения системы.

Обоснована структура высоковольтного электротехнического комплекса тягового электроснабжения и электроподвижного состава постоянного тока высокого напряжения, включающая выпрямительный агрегат напряжением 24...35 кВ, электротяговые сети постоянного тока 24...35 кВ и входной преобразователь электроподвижного состава 24–35 кВ. Предложена структура преобразовательного комплекса на электроподвижном составе постоянного тока высокого напряжения на реверсивном преобразователе АИН ШИМ. На основе данной структуры преобразования электроэнергии на электроподвижном составе предложено разработать многосистемные ЭПС (24–35 кВ постоянного тока / 25 кВ 50 Гц / 3 кВ постоянного тока).

Разработана методика определения параметров устройств электроэнергетического комплекса системы электрической тяги постоянного тока высокого напряжения ещё на стадии проектирования жизненного цикла системы электрической тяги.

Построена имитационная модель системы постоянного тока с электроэнергетическим комплексом высокого напряжения и подтверждена его работоспособность путём проведения экспериментов на модели. Сформулировано предложение по реконструкции пассажиронапряжённых линий с переводом системы 3 кВ на централизованную систему тягового электроснабжением постоянным током высокого напряжения 24 кВ с универсальным электроподвижным составом.

05.09.03 – *Электротехнические комплексы и системы.*

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I. ●





НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

**Список книг российских издательств 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/10.30932/1992-3252-2021-19-4-19>

Абросимов Н. В., Акимов В. А., Алёшин А. В. и др. Безопасность России: правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Раздел II. Техногенная безопасность подвижного состава железнодорожного транспорта: Коллективная монография. – М.: МГОФ «Знание», 2021. – 484 с. ISBN 978-5-87633-193-9.

Абросимов Н. В., Акимов В. А., Алёшин А. В. и др. Безопасность России: правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Раздел III. Техногенная безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта: Коллективная монография. – М.: МГОФ «Знание», 2021. – 736 с. ISBN 978-5-87633-194-6.

Ашпиз Е. С. и др. Железнодорожный путь: Учебник. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 576 с. ISBN 978-5-907206-65-6.

Бочкарёва Н. А. Перевозка грузов на особых условиях (автомобильный транспорт): Учебник. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2021. – 282 с. ISBN 978-5-4488-1274-3.

Бочкарёва Н. А. Перевозка грузов на особых условиях (железнодорожный транспорт): Учебник. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 312 с. ISBN 978-5-4497-0612-6.

Гундарева Е. В. Строительство и реконструкция железных дорог. Раздел I. Участие в проектировании, строительстве и реконструкции железных дорог: Учебное пособие. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 152 с. ISBN 978-5-907206-87-8.

Захарова Н. А. Пассажирская инфраструктура железнодорожного транспорта: Учебное пособие. – М.: Ай Пи Ар Медиа; Саратов: Профобразование, 2021. – 272 с. ISBN 978-5-4497-0636-2.

Курченко А. В. Теоретические основы построения и эксплуатации микропроцессорных и диагностических систем железнодорожной автоматики: Учебное пособие. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 176 с. ISBN 978-5-907206-62-5.

Логистический аудит транспорта и цепей поставок / Материалы IV Международной научно-практи-

ческой конференции (28 апреля 2021 г.): в 2 т. – Т. 2: Транспорт в логистике и цепях поставок. – Тюмень: ТИУ, 2021. – 398 с. ISBN 978-5-9961-2656-9.

Мазнев А. С., Колпахчян П. Г., Пахомин С. А. Электронные и электромеханические системы управления электрическими машинами высокоскоростного транспорта: Учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта. – М.: Инфра-М, 2021. – 138 с. ISBN 978-5-16-014939-4.

Мойсеенко С. С., Светличный Г. В. Организация и технология перевозок на водном транспорте: Методические указания / Федеральное агентство по рыболовству, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Балтийская государственная академия рыбопромышленного флота. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2021.

Потеев Д. А., Тонких А. С., Митрофанова Н. В. и др. Оценка сбалансированности развития морского транспорта: Учеб. пособие. – М.: Альпен-Принт, 2021. – 51 с. ISBN 978-5-6045948-3-4.

Скрышник В. П. История транспорта: Методические указания и контрольные задания / Федеральное агентство по рыболовству, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Балтийская государственная академия рыбопромышленного флота. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2021.

Смолдырева Т. В. Немецкий профессиональный транспорт, теплотехника: Учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – Уфа: УГАТУ 2021. – 84 с. ISBN 978-5-4221-1471-9.

Современные проблемы железнодорожного транспорта: сборник научных трудов кафедры «Нетяговый подвижной состав», посвященный 70-летию юбилею Российской открытой академии транспорта: самостоятельное электронное издание / Министерство транспорта Российской Федерации, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» / Под общ. ред. К. А. Сергеева. – М.: РУТ (МИИТ), 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-5-7473-1078-0.

Фёдоров А. Б., Фёдоров А. Ю. Основы кораблевождения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2021. – 73 с. ISBN 978-5-7038-5642-0.

Фёдоров Г. М., Катровский А. П., Лачининский С. С. и др. Экономическая безопасность регионов Западного побережья России: Монография / Под редакцией Г. М. Фёдорова. – Калининград: Изд-во Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2021. – 231 с. ISBN 978-5-9971-0630-0.

Хобта А. В. Михаил Иванович Хилков и Сибирская железная дорога. Серия «Великий Сибирский путь»: Научно-популярное издание. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 512 с. ISBN 978-5-907206-63-2.

Составила Н. Олейник ●