

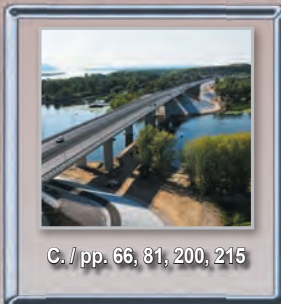
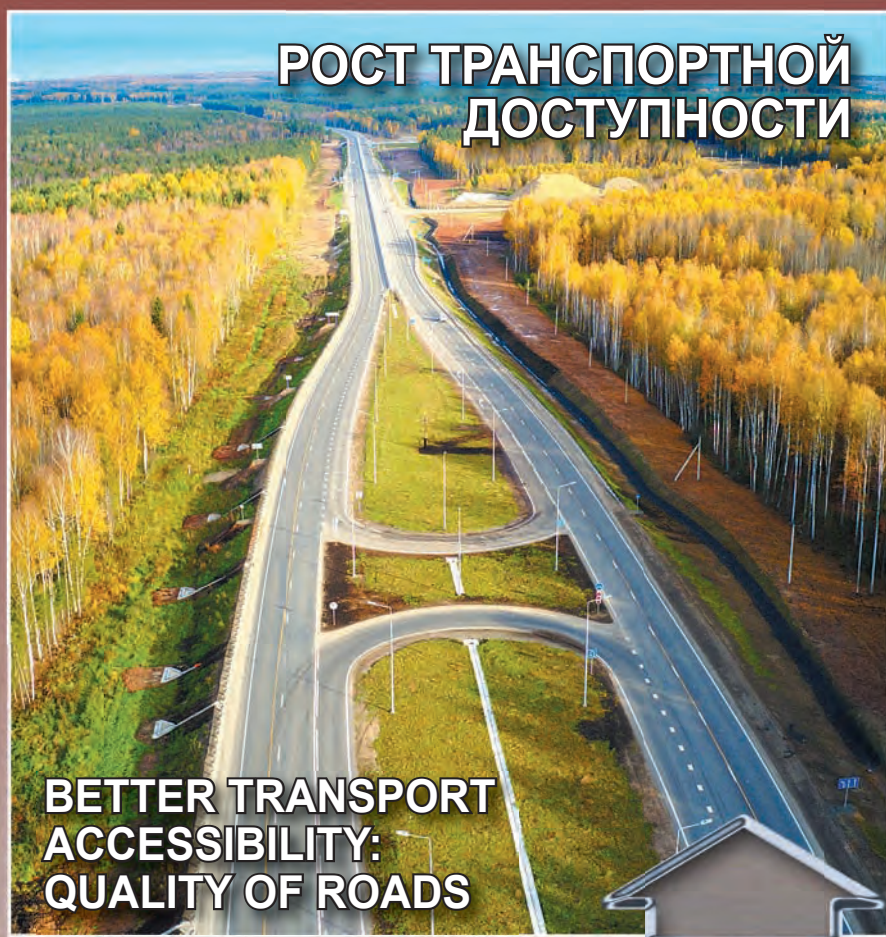
Т

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

1 2022
Том / Vol. 20



С. / pp. 66, 81, 200, 215

41-е ЗАСЕДАНИЕ КООРДИНАЦИОННОГО ТРАНСПОРТНОГО СОВЕЩАНИЯ ГОСУДАРСТВ- УЧАСТНИКОВ СНГ

Заседание, прошедшее 22 декабря 2021 года под председательством министра транспорта Российской Федерации Виталия Савельева, было приурочено к 30-летию юбилею КТС СНГ как ключевой отраслевой организации Содружества. В нём приняли участие министры транспорта и представители транспортных ведомств Азербайджанской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Киргизской Республики, Республики Молдова, Республики Таджикистан, Туркменистана, Республики Узбекистан, а также ассоциированные члены КТС СНГ, представители бизнес-сообщества, меж-

дународных и общественных организаций в сфере транспорта.

Виталий Савельев в режиме видеоконференцсвязи выступил с приветственным словом и подчеркнул, что в современных реалиях СНГ демонстрирует свою востребованность как универсальная площадка для обсуждения актуальных вопросов и принятия системных решений, в том числе в области транспорта.

В ходе заседания обсуждались тенденции цифрового развития транспортной отрасли, а также роль и значение международных транспортных коридоров для экономик стран Содружества.

ПОЗДРАВЛЕНИЕ МИНИСТРА ТРАНСПОРТА ВИТАЛИЯ САВЕЛЬЕВА СТУДЕНТАМ ОТРАСЛЕВЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ 25 ЯНВАРЯ 2022 ГОДА

Уважаемые коллеги, настоящие и будущие!

Сегодня российское транспортное образование находится на подъёме. Тысячи российских и иностранных студентов обучаются в вузах с мощной научной базой, становятся востребованными специалистами, обладающими трудовым опытом и узкоспециальными знаниями уже к моменту выпуска. Сегодня во время учёбы студенты работают над крупнейшими инфраструктурными проектами страны: Транссибом, Каналом Москва–Волга, сотнями уникальных мостов и тоннелей и другими сооружениями.

Транспортные вузы сегодня – это не только место для обучения, но и крупные научные центры. В них преподают профессора, доктора и кандидаты наук, а ветераны отрасли помогают своим опытом и знаниями воспитать не одно поколение транспортников.

В прошлом году произошли важные события в образовании. Главному транспортному вузу страны – Российскому университету транспорта – исполнилось 125 лет, а Петербургскому государственному университету путей сообщения –



212 лет. Они продолжают принимать студентов и помогать в решении актуальных задач. Президентом был открыт Дальневосточный морской тренажёрный центр МГУ имени адмирала Г. И. Невельского – уникальный комплекс по подготовке членов экипажей многофункциональных судов и повышению квалификации морских специалистов.

Дорогие студенты! Вы выбрали непростой, но почётный путь транспортника. Эта профессия востребованная и нужная для страны. Благодаря нам по всей стране доставляются миллионы пассажиров и миллионы тонн грузов, ходят поезда и корабли, летают самолёты, строятся автостреды, железнодорожные пути, мосты и аэропорты.

Желаю вам успехов в учёбе и профессии. Надеюсь в скором времени увидеть вас в наших рядах. С праздником вас! С Днём российского студенчества!

По материалам Министерства транспорта Российской Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10146>, <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10158> ●

ТРАНСПОРТ

1 2022
(98)

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ • КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

НАУКА И ТЕХНИКА

Максим ШЕВЛЮГИН, Владимир АНТОНОВ, Наталья МАКСИМЕНКО

Современные подходы к проектированию устройств тяговой сети железных дорог с помощью BIM-технологий 6

Айбек ЕРКЕБАЕВ

Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования. 13

Вячеслав ЕГОРОВ

Потенциал применения комплекса экспресс-диагностики (Exsys, ИМДЦ-2) для тепловозных дизелей 23

Анатолий ВОЛКОВ, Максим МОРОЗОВ

Фазовый преселектор, подавляющий зеркальный канал в радиоприёмнике 30

Наталья ТРОИЦКАЯ

Инновационный подход к созданию новых видов городского пассажирского транспорта 36

Геннадий ПЕТРОВ, Виктор ФИЛИППОВ, Надежда КУРЗИНА, Иван СЕРГЕЕВ

Оценка опасности выжимания порожних вагонов при маневровых соударениях и переходных режимах движения в тяжеловесных поездах 50

ЭКОНОМИКА

Артур КАРЛОВ

Транспортная политика: теоретическая база и экономические аспекты 60

Экспресс-информация. Национальный проект «Безопасные качественные дороги»: в 2021 году в России отремонтировали 16,5 тыс. км дорог 66

Ольга ЕФИМОВА, Сергей ПИНЧУК

Процессный подход – основа цифровых трансформаций в транспортно-логистическом бизнесе 67

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», 2022

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Борис ЛЁВИН, Александр ПИСКУНОВ, Владимир ПОЛЯКОВ, Александр САВИН
Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты 74
Экспресс-информация. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в российских регионах 80
Владимир ПАНКОВ
Новая методика расчёта нагрузки на дорожное полотно 81
Дмитрий ЛЕВИН
Управление поездобразованием. Часть 1 96

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Алексей РАЗУВАЕВ
История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 2 106
Николай ГРИГОРЬЕВ
Химик, практик, учитель
Иван Алексеевич Каблуков (1857–1942) 113
Пресс-архив
Н. П. ВЕРХОВСКИЙ
О книге Н. П. Верховского
«Железнодорожная неразбериха». Часть 2 120

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Книга о Российском университете транспорта (МИИТ) 132
Авторефераты диссертаций 135
Новые книги о транспорте 140

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

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 300 экз. Цена свободная.
Отпечатано с оригинал-макета в типографии ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У.

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

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

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 20²⁰²²
Iss. 1

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Leonid B. Mirotnin, 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

SCIENCE AND ENGINEERING

*Maxim V. SHEVLYUGIN, Vladimir S. ANTONOV,
Natalia V. MAKSIMENKO*

Modern Approaches to Design of Traction Power
Network Facilities Using BIM Technology 142

Aibek Zh. ERKEBAEV

Control of the Technical Condition of Power
Transformers by Acoustic Diagnostics 149

Vyacheslav V. EGOROV

Application Potential of Express Diagnostics Package
(Exsys, IMDC-2) for Diesel Locomotive Engines 158

Anatoly A. VOLKOV, Maxim S. MOROZOV

Phase Preselector Intended to Suppress Image Frequency
in the Radio Receiver 165

Natalia A. TROITSKAYA

An Innovative Approach to Creation of New Types of Urban
Passenger Transport 171

*Gennady I. PETROV, Viktor N. FILIPPOV,
Nadezhda M. KURZINA, Ivan K. SERGEEV*

Evaluation of the Danger of Wheel Lift for Empty
Cars in Heavy Trains during Shunting Collisions
and Transient Modes of Movement 184

ECONOMICS

Artur V. KARLOV

Transport Policy: Theoretical Framework
and Economic Aspects 194

Express Information. 16,5 thou km of Roads were Repaired
in 2021 in Russia within the Framework of National
Safe High-Quality Roads Project 200

Olga V. EFIMOVA, Sergey S. PINCHUK

Process Approach as the Basis for Digital Transformations
in Transport and Logistics Business 201

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. OLEJNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta
© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2022. All rights reserved.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

*Boris A. LYOVIN, Alexander A. PISKUNOV,
Vladimir Yu. POLIAKOV, Alexander V. SAVIN*

Application of Artificial Intelligence in Transport

Construction: Engineering and Educational Aspects 208

Vladimir Yu. PANKOV

A New Procedure to Calculate the Load on the Roadway 214

Dmitry Yu. LEVIN

Train Formation Management. Part 1 227

HISTORY WHEEL

Aleksey D. RAZUVAEV

The History of Development of Inland Transport Infrastructure:

Technology and Economic Aspects. Part 2 236

Nikolay D. GRIGORIEV

Chemist, Practitioner, Teacher.

Ivan Alekseevich Kablukov (1857–1942) 242

News from the Archives

N. P. VERKHOVSKY

About the Book «Railway Confusion»

by N. P. Verkhovsky. Part 2 249

BIBLIO-DIRECTIONS

The Book about Russian University of Transport (MIIT) 260

Selected Abstracts of D.SC. and Ph.D.

Theses Submitted at Russian Transport Universities 263

New Books on Transport and Transportation 268

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

98 issues have been published since 2003.

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

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

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

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

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

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



ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ: ЦИФРОВЫЕ ПРОЕКТЫ 6

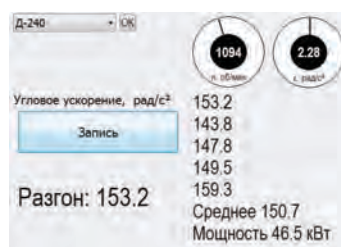
Обзор опыта и выработка общих подходов на основе пилотного проекта цифровизации.

АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ 13

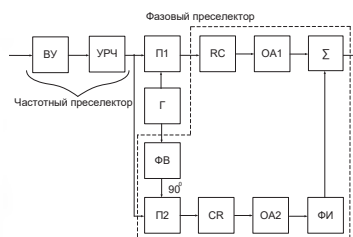
Сенсорные датчики для контроля текущего технического состояния силовых трансформаторных подстанций.

ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ 23

Как проверить работоспособность и найти неисправность дизеля? Описан аппаратно-программный комплекс диагностики ДВС.



НАУКА И ТЕХНИКА



РАДИОСВЯЗЬ 30

Для подавления зеркального канала использован принцип когерентного детектирования сигналов двух каналов, то есть, фазовый селектор.

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 36

Население больших городов нуждается в экологических, не создающих пробки, транспортных средствах. Наиболее перспективные технологии, которые уже стоят на пороге внедрения.

ТЯЖЕЛОВЕСНЫЕ ПОЕЗДА 50

Риски выжимания порожних вагонов, возникающие из продольной динамики поездов: история подходов к их нейтрализации и общая оценка возможных решений сегодня.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 621.332.656.34:625.11
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-1>

Мир транспорта. 2022. Т. 20.
№ 1 (98). С. 6–12

Современные подходы к проектированию устройств тяговой сети железных дорог с помощью BIM-технологий



Максим ШЕВЛЮГИН



Владимир АНТОНОВ



Наталья МАКСИМЕНКО

Максим Валерьевич Шевлюгин¹, Владимир Сергеевич Антонов², Наталья Владимировна Максименко³

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

^{2, 3} «Трансэлектрпроект» – филиал АО «Росжелдорпроект», Москва, Россия.

✉ ¹ mx_sh@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Оптимизации архитектурно-строительных проектов систем электроснабжения можно достичь с помощью BIM-технологий, которые позволяют создать единую информационную модель взаимосвязанных процессов. Они позволяют автоматически предотвратить многие ошибки проектирования, а анализ проектных решений становится при помощи BIM проще и нагляднее, значительно повышая качество проектной и рабочей документации.

BIM-технология – это современный подход к циклу «проектирование-строительство-эксплуатация». BIM можно охарактеризовать как организованную информацию об объекте, используемую как на стадии проектирования и строительства, так и в период его эксплуатации и демонтажа.

Важной составляющей данной технологии является единое информационное пространство – база данных, содержащая всю информацию о технических, эксплуатационных, энергетических и прочих характеристиках объекта. Благодаря точной и детальной проработке модели, эта технология даёт возможность проводить различные расчёты и анализы. В процессе проектирования создается компьютерная модель нового объекта, несущая в себе все сведения о нём. При BIM-проектировании проектировщик любого уровня имеет возможность и прямую необходимость

мыслить об объекте, как о целостной модели, в режиме реального времени и в гармоничном единстве с её экономической составляющей.

Грамотное применение программных продуктов для разработки BIM-моделей, а также среды визуального программирования и последующего оформления рабочей документации значительно сокращает время проектирования и существенно снижает количество ошибок. Тем самым затраты и время на исправление ошибок минимизируются.

Указанные свойства BIM-технологий позволяют в полной мере использовать их преимущества при внедрении цифрового моделирования строительства в области энергетического хозяйства железных дорог. При этом процессе появляется возможность прямой взаимосвязи между разработкой проектных технических решений и расчётной электротехнической частью имитационного моделирования.

Целью исследования был анализ практической применимости и специфики внедрения данных технологий при проектировании контактной сети. На основе обобщения имеющегося опыта показаны ключевые моменты реализации необходимой для этого информационной среды, особенности создания цифровых «двойников» объектов инфраструктуры электроснабжения и работы с ними.

Ключевые слова: транспорт, железные дороги, BIM, проектирование, моделирование, автоматизация, энергоснабжение, тяговая сеть, контактная сеть.

Для цитирования: Шевлюгин М. В., Антонов В. С., Максименко Н. В. Современные подходы к проектированию устройств тяговой сети железных дорог с помощью BIM-технологий // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-1>.

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

BIM-технология (Building Information Modeling, информационное моделирование в строительстве) позволяет создать единую информационную модель взаимосвязанных процессов на всем протяжении жизненного цикла объекта, начиная со стадии основных проектных решений и заканчивая его реконструкцией или демонтажем¹.

Цель применения технологий информационного моделирования заключается в том, что они позволяют автоматически предотвратить многие распространённые ошибки проектировщиков, а проверка проектных решений и их анализ на коллизии становится при помощи BIM-технологий в разы проще, нагляднее и эффективнее. Технология информационного моделирования позволяет выявлять все ошибки в проекте на ранних стадиях, значительно повышая качество проектной и рабочей документации [1; 2]. Тем самым затраты и время на исправление ошибок минимизируются. Также данная технология позволяет уже в процессе проектирования визуализировать для заказчика процесс строительства объекта с «нуля» с возможностью отображения временной и экономической составляющей его этапов.

Все эти преимущества информационного моделирования в полной мере относятся и к сфере железнодорожного транспорта, в частности, к проектированию объектов его высокотехнологичной и комплексной инфраструктуры, что уже начиная с этапа проектирования делает необходимым активную координацию групп специалистов, постоянное взаимодействие с заказчиком, синхронизацию технических, организационных, экономических аспектов проекта.

Актуальность создания единой информационной модели состоит в том, чтобы группа специалистов различных проектных разделов могла совместно работать над единой BIM-моделью объекта, в частности, железнодорожной инфраструктуры [3–5]. Это позволяет всем участникам процесса моделирования видеть в режиме реального времени все действующие изменения, внесённые в проект. Также стоит отметить, что современные реалии складываются таким образом, что наряду с грамотными и экономически обос-

нованными техническими решениями, заказчик хочет получить приближенную к реальности визуализацию готового объекта уже на начальных этапах проектирования [6; 7].

Как и для решения любой технологической задачи, в сфере информационного моделирования необходимы соответствующие инструменты. Не являются исключением и процессы использования BIM-технологий при проектировании инфраструктуры железнодорожного транспорта, в которых в таком качестве выступает программное обеспечение.

В настоящее время на рынке существует большое количество программных продуктов для разработки BIM-моделей и последующего оформления рабочей документации². Основными и наиболее часто используемыми в российских условиях являются: Civil3D, ArchiCAD, Renga, Revit [8], обладающие своими преимуществами, анализ которых, однако, не входил в число задач исследования. Следует отметить, что технология информационного BIM-моделирования раскрывается в полной мере только при внедрении автоматизации, основанной на разработке и использовании различных «скриптов» и «плагинов» [9–11]. Подобные инструменты хорошо развиты, например, в программном комплексе «Autodesk Revit».

Целью статьи является анализ особенностей внедрения современных методов цифрового моделирования строительства в области энергетического хозяйства железных дорог на основе применения программных средств BIM-технологий при проектировании контактной сети, а также их преимуществ как для подготовки BIM-моделей, так и для формирования полноценной рабочей документации по сравнению с традиционными методами проектирования. В качестве объекта практического применения BIM-технологий рассмотрена деятельность ОАО «РЖД».

Решение поставленных задач осуществлялось с помощью общенаучных *методов исследования*, теоретического анализа и синтеза, графической интерпретации информации, а также моделирования и программирования [12–14].

¹ What is BIM technology? [Электронный ресурс]: <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>. Доступ 10.03.2021.

² См., напр.: Ожигин Д. Анализ текущей ситуации на российском BIM-рынке в области гражданского строительства. [Электронный ресурс]: <https://ru-bezh.ru/denis-ozhigin/39134-analiz-tekushhej-situaczii-na-rossijskom-bim-rynke-v-oblasti-gr>. Доступ 10.03.2021.



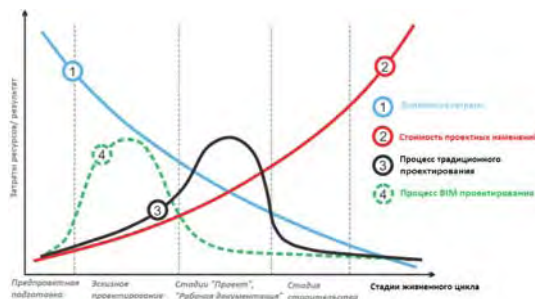


Рис. 1. Преимущества BIM-моделирования перед традиционным моделированием [8, доработано авторами].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Преимущества BIM-технологий

Специалисты, участвующие в разработке единой информационной модели объекта железнодорожной инфраструктуры, должны обладать не только соответствующей квалификацией по своим профильным разделам, но и уверенно владеть программными продуктами для разработки BIM-моделей.

BIM-технологии имеют ряд преимуществ перед традиционными методами проектирования. При применении BIM-технологий основной объём работ по внесению важных проектных изменений смещается на стадию эскизного проектирования и разработки проектной документации, что существенно сокращает затраты на исправление каждой проектной ошибки [15–17]. Исходя из графиков на рис. 1 стоимость вносимых изменений растёт с каждой стадией жизненного цикла.

В то же время, при традиционной технологии CAD-проектирования наибольшее количество коллизий, недочётов в спецификациях обнаруживается и исправляется преимущественно на стадиях рабочей документации и строительства, что ведёт за собой больший объём финансовых и производственных затрат.

Предпосылки использования BIM-технологий для реализации проектов на российских железных дорогах

В условиях рыночной экономики во всех отраслях ведётся конкурентная борьба за

скорость, качество и стоимость. Такие задачи стоят и перед транспортными компаниями, в том числе перед одной из крупнейших транспортных компаний России – ОАО «Российские железные дороги». Существенными пунктами в актуализированной генеральной схеме развития сети РЖД до 2030 года являются:

- определение существующих и перспективных «узких мест» в пропускной способности участков сети железных дорог ОАО «РЖД»;
- мероприятия по развитию железнодорожной инфраструктуры⁴.

Для реализации данных пунктов необходима оптимизация комплекса проектно-расчётных работ. Помимо этого в настоящее время заказчик в задание на проектирование всё чаще старается включать пункт о создании информационной (цифровой) модели объекта.

Ведущие проектные организации в России, среди лидеров которых по внедрению самых современных средств расчётно-проектной деятельности в области электро-снабжения железных дорог находится «Трансэлектропроект» (ТЭЛП), уже сейчас используют BIM-технологии для реализации синтеза технических решений в хозяйстве электроэнергетического снабжения железнодорожной инфраструктуры. Например, в ТЭЛП на сегодняшний день для быстрого и точного построения 3D-моделей уже сформированы практически все необходимые инструменты и библиотеки элементов для моделирования.

³ См., напр.: Что такое BIM Building Information Modeling... [статья genpro.ru] [Электронный ресурс]: <https://xn----dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/bim-who-is>; Проектирование по BIM-технологиям. [Электронный ресурс]: <https://proekt.tessib.ru/bim-technology/designing-bim-technology/>. Доступ 14.03.2021.

⁴ ОАО «РЖД» подготовило актуализированный вариант генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» до 2020 и 2025 годов. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=54527/>. Доступ 14.03.2021.

Использование BIM-технологий при проектировании контактной сети железнодорожного транспорта

Информационная модель объекта контактной сети представляет собой протяжённый линейный объект, содержащий в себе большой набор опорных и поддерживающих конструкций, различного оборудования, а также контактную подвеску и дополнительные провода, подвешиваемые на опорах контактной сети (рис. 2).

Первостепенной задачей при создании информационной модели контактной сети является разработка библиотеки, содержащей все необходимые семейства для наполнения модели объекта.

Создание семейства представляет собой довольно трудоёмкий процесс. Необходимо заранее тщательно продумать логику работы в модели. Данный процесс очень важен, так как он влияет на стабильность работы информационной модели объекта.

В передовых программных продуктах BIM-технологий внутренней структурой предусмотрено наличие ряда категорий, и любое семейство принадлежит какой-то определённой категории. Например, семейство фундамента принадлежит категории «фундамент несущей конструкции». В свою очередь семейство имеет типоразмеры. А семейство фундамента имеет типоразмеры разной длины и несущей способности (к примеру, фундамент типа ТСА длиной 4,5 и с несущей способностью 59 кН•м, фундамент типа ТСА длиной 5,0 и с несущей способностью 79 кН•м и т.п.).

Семействам задаются все параметры, присущие устройствам контактной сети: наименование, марка, обозначение, вес, ГОСТ и т.д. Каждое семейство модели разрабатывается с использованием «файла общих параметров». Данный файл позволяет использовать согласованные названия и избежать появления избыточных данных основных и дополнительных параметров при создании семейств. Также данный файл необходим для корректного отображения семейств в текстовом виде (спецификации). К обязательным параметрам относятся такие свойства или технические характеристики, которые позволяют однозначно идентифицировать семейство, а также содержат данные, на основании которых возможно осуществить разработку технической документации, заказ, покупку



Рис. 2. 3D-визуализация проекта контактной сети [выполнено авторами].



Рис. 3. Пример сборки сложного семейства. Опора контактной сети [выполнено авторами].

и монтаж конкретного элемента в процессе строительства. К дополнительным параметрам относятся свойства или технические характеристики, необходимые для проведения инженерных расчётов, информация технико-экономического характера, технико-эксплуатационные и иные характеристики⁵. Это необходимо для автоматического формирования спецификации оборудования и материалов. Спецификация в «BIM-объекте» – это та же модель, только представленная в табличном виде, каждая строчка которой является элементом модели. Важной особенностью является взаимосвязь спецификации и модели: изменяя элемент в спецификации, он изменяется в модели, и наоборот. Таким образом, абсолютно исключаются моменты расхождения спецификации с проектом. Спецификации можно создавать и сортировать по категориям, семействам, параметрам семейства и в дальнейшем использовать их в других проектах.

Из созданных семейств можно собрать сложное семейство – «сборку» (рис. 3), в которой все элементы взаимосвязаны и настроены для облегчения проектирования.

Все семейства строго классифицируются по типам, категориям и подкатегориям объектов на основе библиотечных элементов.

⁵ См., напр.: СП 328.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели.



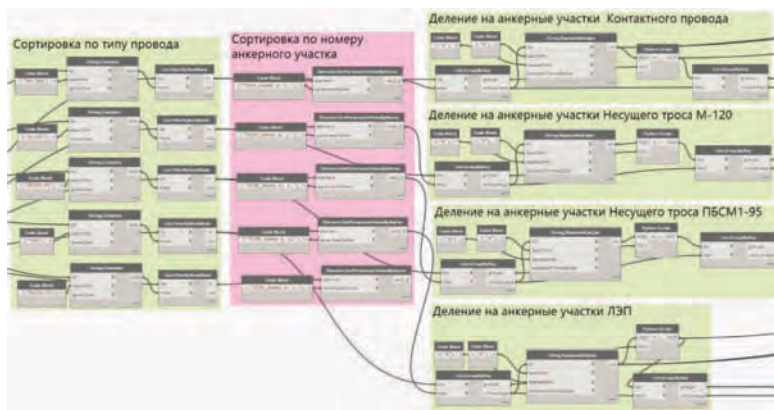


Рис. 4. Структурная схема модели автоматизации процесса проектирования устройства контактной сети, реализуемой в среде визуального программирования [выполнено авторами].

Моделирование компонентов и элементов цифровой информационной модели линейного объекта электрификации и электроснабжения железных дорог проводится в соответствии с их истинными размерами в масштабе 1:1, в метрической системе измерений.

Важной особенностью применения BIM-технологии при создании информационной модели является использование шаблонов. При грамотной подготовке шаблона вся информационная часть уже будет заложена в BIM-модель. В рамках подготовки шаблона настраиваются все необходимые виды, спецификации и листы для оформления чертежей. По мере построения BIM-модели спецификации автоматически заполняются и, в случае любых изменений элементов сборки сложного семейства, автоматически обновляются [18].

Проектирование контактной сети – это достаточно сложный и трудоёмкий процесс, который занимает довольно много времени и включает в себя следующий набор задач:

- расстановка опор контактной сети;
- трассировка проводов контактной подвески и дополнительных проводов;
- расчёт и подбор опорных и поддерживающих конструкций;
- составление спецификаций оборудования, изделий и материалов, ведомостей объёмов работ;
- оформление чертежей.

Данный процесс возможно значительно автоматизировать с помощью виртуальных инструментов программного разработчика BIM-комплекса, а также встраиваемой дополнительной среды для визуального программирования (к примеру, программная среда Dynamo) (рис. 4). Мощные инструменты ав-

томатизации процессов проектирования позволяют, в частности:

- осуществить автоматический подбор и установку ригелей, а также армирование их поддерживающими конструкциями (рис. 5);
- автоматизировать трассировку проводов контактной подвески;
- автоматизировать заполнение таблицы анкерных участков и дополнительных проводов.

Всё это позволяет избежать ошибок, возникающих при ручных расчётах, и ускорить проектирование, автоматизировав рутинные задачи.

Перспективы развития BIM-технологий применительно к проектированию контактной сети

В перспективе будет реализована возможность симбиоза электротехнической расчётной части и проектной части устройства контактной сети.

На данный момент вначале на основе имитационного моделирования производится электротехнический расчёт системы тягового электроснабжения, результаты которого выступают в качестве исходных данных для разработки проектных технических решений устройств контактной сети [19].

Переходя на BIM-технологии в более широкой форме, и электротехнические расчёты, и проектные решения будут реализовываться в одной цифровой среде, более того, в единой цифровой модели. Это позволит оперативно, а самое главное с большей точностью, корректировать «цифровой двойник» на различных уровнях выполнения глобальной задачи.

Перспектива внедрения расчётно-проектной модели (цифрового двойника) в симбиозе с программным продуктом по



Рис. 5. Пример сборки сложного семейства. Армирование жёсткой поперечины поддерживающими конструкциями с применением автоматизации подбора инструментов визуального программирования [выполнено авторами].

производству электротехнических расчётов (к примеру, ЕТАР [20–22]) позволит вывести на качественно новый уровень ведение комплекса расчётов и проектирования железных дорог России.

Подобные технологии в настоящее время апробируются в Российском университете транспорта на кафедре «Электроэнергетика транспорта».

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Переход проектной организации на проектирование с применением BIM-технологий означает не только замену традиционных методов проектирования (2D-чертежи) на информационную модель. Изменения касаются основных рабочих процессов организации, в которых участвуют технические специалисты и руководители всех уровней. Конечно же, такого рода перемены ведут к перераспределению полномочий, зон ответственности, внутреннего документооборота, изменению характера взаимоотношений с партнёрами и т. д.

При BIM-проектировании проектировщик любого уровня имеет возможность и испытывает прямую необходимость мыслить об объекте как о целостной модели в режиме реального времени, а также о связанной с ней экономической составляющей.

Грамотное применение инструментов программного комплекса по BIM-моделированию, а также среды для визуального программирования значительно сокращает время проектирования и существенно снижает количество совершаемых ошибок.

Как ни парадоксально, но в соответствии с оценкой полного жизненного цикла объекта «на проектирование с применением традиционных методов приходится самая незначительная доля вложений – всего около 5 %. Однако ошибки, допущенные при проектировании, в результате могут привести к зна-

чительным незапланированным затратам на более поздних этапах жизненного цикла объекта, а именно при его строительстве и эксплуатации»³.

На основе изложенных в статье описаний понятий, связанных с применением BIM-технологий при проектировании контактной сети, обобщённого алгоритма поэтапного выполнения его процессов, показана необходимость при применении общей технологии цифрового моделирования учитывать специфику подлежащих проектированию объектов инфраструктуры, создавать относящиеся к ним библиотеки, в том числе «цифровых двойников» (с возможностью их применения на различных объектах). Основной перспективной задачей научного поиска является конкретизация имеющихся разработок и интеграция расчётно-проектной модели («цифрового двойника») в симбиозе с программным продуктом по производству электротехнических расчётов. Отдельного рассмотрения требует развитие унифицированной системы анализа экономических преимуществ технологии цифрового моделирования по сравнению с традиционными методами и инструментами проектирования, а также целый ряд иных вопросов.

Постепенное накопление опыта реализации практических проектов в совокупности с прикладными исследованиями, на наш взгляд, способно ещё более повысить эффективность использования BIM-технологий для целей проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Volkov, A. A., Sukneva, L. V. BIM-Technology in Tasks of the Designing Complex Systems of Alternative Energy Supply. XXIII R-S-P seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP). Procedia Engineering, 2014, Vol. 91, pp. 377–380. DOI: 10.1016/j.pro-eng.2014.12.078.
2. Cheng-Ting, Chiang; Chun-Ping, Chu; Chien-Cheng, Chou. BIM-enabled power consumption data management



platform for rendering and analysis of energy usage patterns. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Procedia Engineering, 2015, Vol. 118, pp. 554–562. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.480.

3. Dmitriev, A. N., Vladimirova, I. L., Kallaur, G. Yu., Tsygankova, A. A. Approaches to Classifying Building Innovations while Implementing Information Modeling and Project Management. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2019, Vol. 12 (2), pp. 143–151. [Электронный ресурс]: <http://www.jestr.org/downloads/Volume12Issue2/fulltext20122019.pdf>. Доступ 14.03.2021.

4. Baht, I. M., Nicolae, P. M., Nicolae, I. D., Baht, N. Analysis of Green Building Effect on Micro grid Based on Potential Energy Savings and BIM. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 2020, Vol. 5, Iss. 6, pp. 30–35. DOI: 10.25046/aj050604.

5. Adibah Ayuni Abd Malek, N., Ming Chew, J., Akmam Naamandadin, N., Zaiha Zainol, N., Muhammad, Kh. A study on association between tilt angle, solar insolation exposure and output of solar PV panel using BIM 3D modeling. MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 195, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819506009>.

6. Gan, V. J. L.; Han, Luo; Yi, Tan; Min, Deng; Kwok, H. L. BIM and Data-Driven Predictive Analysis of Optimum Thermal Comfort for Indoor Environment. Sensors, 2021, Vol. 21, pp. 1–22. DOI: 10.3390/s21134401.

7. Nik-Bakht, M.; Lee, J.; Dehkordi, S. H. BIM-based reverberation time analysis. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 2021, Vol. 26, pp. 28–38. [Электронный ресурс]: https://www.itcon.org/papers/2021_03-ITcon-Nik-Bakht.pdf. Доступ 20.12.2021.

8. Талапов В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. – ДМК-Пресс, 2015. – 410 с. [Электронный ресурс]: <https://avidreaders.ru/download/tehnologiya-bim-sut-i-osobennosti-vnedreniya.html?f=pdf>. Доступ 10.03.2021.

9. Ahuja, R., Sawhney, A., Arif, M. Prioritizing BIM Capabilities of an Organization: An Interpretive Structural Modeling Analysis. Creative Construction Conference, 19–22 June 2017, Primosten, Croatia. Procedia Engineering, 2017, Vol. 196, pp. 2–10. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.166.

10. Zhou, M., Tang, Y., Jin, H., Zhang, B., Sang, X. A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in the Design of Beijing Subway. Journal of Civil Engineering and Management, 2021, Vol. 27, Iss. 7, pp. 500–514. DOI: 10.3846/jcem.2021.15602.

11. Farooq, J., Sharma, P., Kumar, R. S. Applications of Building Information Modeling in Electrical Systems Design. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2017, Vol. 10 (6), pp. 119–128. DOI: 10.25103/jestr.106.16.

12. Heo, J., Moon, H., Chang, S., Han, S., Lee, D.-E. Case Study of Solar Photovoltaic Power-Plant Site Selection for Infrastructure Planning Using a BIM-GIS-Based Approach. Applied Sciences, 2021, Vol. 11, pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11188785>.

13. Azevedo, D. M., Marotti, A., Cardoso, A., Lamounier, E., De Lima, G. F. M., De Araújo, A. L., Gutler, C., De Oliveira Rocha, R., Bartholomeu, C. Development of Bim (Building Information Modeling) Concept Applied to Projects of Substations Integrated With the Geographic Intelligence System (GIS). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) in WSEAS Transactions on Power Systems, 2021, Vol. 16, pp. 1–7. DOI: 10.37394/232016.2021.16.1.

14. Zhao, Liang; Zhang, Hong; Wang, Qian; Wang, Haining. Digital-Twin-Based Evaluation of Nearly Zero-EnergyBuilding for Existing Buildings Based on Scan-to-BIM. Hindawi Advances in Civil Engineering, 2021, Vol. 5, pp. 1–11. DOI: 10.1155/2021/6638897.

15. Balaras, C. A., Kontoyiannidis, S., Dascalaki, E. G., Drousta, K. G. Intelligent Services for Building Information Modeling – Assessing Variable Input Weather Data for Building Simulations. The Open Construction and Building Technology Journal, 2013, Vol. 7, pp. 138–145. DOI: 10.2174/1874836820131022005.

16. Borodin, S., Lyapina, A. State examination of BIM-model on the basis of object technological dependencies model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 451, pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/451/1/012082.

17. Mataloto, B., Mendes, H., Ferreira, J. C. Things2People Interaction toward Energy Savings in Shared Spaces Using BIM. Applied Sciences, 2020, Vol. 10, pp. 1–17. DOI: 10.3390/app10165709.

18. Пеньковский Г. Ф. Основы информационных технологий и автоматизированного проектирования в строительстве. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – 150 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/view/penkovskiy-gf-osnovy-informacionnyh-tehnologiy-i-avtomatizirovannogo-proektirovaniya-v-stroitelstve_623e64bf644.html. Доступ 14.03.2021.

19. Andreev, V. V., Shevlyugin, M. V., Grechishnikov, V. A. Integral characteristics of branched traction power-supply systems. Russian Electrical Engineering, 2012, Vol. 83 (12), pp. 672–675. DOI: 10.3103/S1068371212120024.

20. Tulskey, V., Shevlyugin, M., Korolev, A., Khripushkin, N., Baembitov, R. Application of ETAP™eTraX™ software package for digital simulation of distribution network that feeds an AC traction power supply system. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 209, pp. 07011. DOI: 10.1051/e3sconf/202020907011.

21. Shevlyugin, M. V., Korolev, A. A., Golitsyna, A. E., Pletnev, D. S. Electric Stock Digital Twin in a Subway Traction Power System. Russian Electrical Engineering, 2019, Vol. 90 (9), pp. 647–652. DOI: 10.3103/S1068371219090098.

22. Shevlyugin, M. V., Korolev, A. A., Korolev, A. O., Aleksandrov, I. A. A Digital Model of a Traction Substation with Two Types of Current. Russian Electrical Engineering, 2018, Vol. 89 (9), pp. 540–545. DOI: 10.3103/S1068371218090134.

Информация об авторах:

Шевлюгин Максим Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, mx_sh@mail.ru.

Антонов Владимир Сергеевич – инженер отдела контактной сети Проектно-исследовательского института электрификации железных дорог и энергетических установок («Трансэлектропроект») – филиала АО «Росжелдорпроект», аспирант кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, vlatigev@yandex.ru.

Максименко Наталия Владимировна – инженер отдела контактной сети Проектно-исследовательского института электрификации железных дорог и энергетических установок («Трансэлектропроект») – филиала АО «Росжелдорпроект», аспирант кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, maksusha907@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 14.01.2022, одобрена после рецензирования 18.02.2022, принята к публикации 21.02.2022.



Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования



Айбек Жомартович Еркебаев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия / Алматы, Казахстан.

✉ erkebaev7397-1@murdoch.in.

Айбек ЕРКЕБАЕВ

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования обуславливается необходимостью разработки и последовательного внедрения эффективных методик контроля текущего технического состояния силовых трансформаторных подстанций в системе железных дорог Республики Казахстан. Основу методологического подхода в данной научно-исследовательской работе составляет сочетание методов системного анализа существующих на сегодняшний день подходов к осуществлению контроля текущего технического состояния силовых трансформаторов с использованием методов акустического диагностирования с аналитическим исследованием принципиальных возможностей осуществления данных операций в системе железных дорог Республики Казахстан.

В ходе проведения экспериментальной части исследования высокую эффективность в вопросах обнаружения частичных разрядов на поверхности изоляционного слоя оборудования силовых трансформаторных подстанций показали акустические датчики частичных разрядов. Данное оборудование при использовании метода акустического контроля продемонстрировало высокие эксплуатационные характеристики.

Хорошие результаты показал и акустический метод контроля в целом, так как оперативность контроля и возможность снятия показаний при условии сохранения непрерывной подачи силового напряжения позволяют сократить время проведения эксперимента с получением высокоточных результатов, определять причины возникновения нарушений на поверхности изоляционного слоя силовых трансформаторов, а также дают возможность максимально точной локализации участков возникновения подобных повреждений.

Высказан ряд предложений по роли, которую акустический метод контроля может играть в общей системе организации проверки технического состояния, эксплуатации и ремонта силового электрооборудования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии разнообразных вариантов применения методов акустического диагностирования, а также подтверждают необходимость их последующего усовершенствования для достижения высокого качества контроля технического состояния и функционирования силовых трансформаторных подстанций железных дорог.

Ключевые слова: силовые трансформаторные подстанции, тяга поездов, подвижной состав железной дороги, акустическое диагностирование, железнодорожная отрасль Республики Казахстан, контроль технического состояния.

Для цитирования: Еркебаев А. Ж. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-2>.

**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

Современные трансформаторные станции имеют важное значение для обеспечения тяги поездов в системе электрифицированных железных дорог, для безопасного эксплуатационного использования электроэнергетического оборудования. Этот вопрос является актуальным, в том числе и для системы железнодорожного транспорта Республики Казахстан.

К числу наиболее распространённых и эффективных в практическом использовании методов контроля технического состояния силовых трансформаторов относится метод акустического диагностирования, предполагающий локацию и точечное определение уровня распределяемых звуковых разрядов. Таковыми называются разряды, шунтирующие только определённый участок изоляционного покрытия силового трансформатора, они свидетельствуют о наличии локальных дефектов, требующих своевременного устранения. Это могут быть ослабления изоляционного покрытия по причине образования газовых полостей, а также возникновения острых кромок металлических конструкций [1]. Включения газа являются ослабленными участками, вне зависимости от консистенции изоляционного покрытия (твёрдое или жидкое), ослабление которых происходит по причине несоответствия показателей диэлектрической проницаемости газа, а также высоких показателей напряжённости электрического поля, имеющих место во включениях и в несколько раз превышающих аналогичные значения в других точках изоляционного покрытия. Также следует принимать во внимание тот факт, что показатель электрической плотности газа существенно меньше, чем аналогичный показатель твёрдых и жидких диэлектриков. Возникновение описываемых частичных разрядов возможно также в непосредственной близости от острых краёв электродов, в областях, где существенно возрастает напряжённость электрического поля [2].

Необходимость осуществления своевременного контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования во многом обуславливается частыми повреждениями изоляционного покрытия силовых трансформаторов, происходящих по причине частых разрядов в масляных прослойках, пребывающих в непо-

средственном контакте с твёрдой изоляцией. В подобных ситуациях на поверхности твёрдого изоляционного покрытия появляются устойчивые проводящие следы. На подобных участках по причине возникновения избыточных перенапряжений, а также рабочих напряжений, возможно возникновение разрядов поверхностного типа, развитие которых происходит непрерывно и завершается пробоем изоляционного покрытия [3]. Это свидетельствует о значительной опасности, которую несут в себе частичные разряды для изоляции силовых трансформаторов, по причине высокой вероятности разрушения изоляционного покрытия на отдельных участках и развития пробоев промежутков изоляции.

Технический персонал, в чьи непосредственные служебные обязанности входит обслуживание силовых трансформаторных подстанций, вынужден непосредственно сталкиваться с проблемами возникновения пробоев изоляционного покрытия, а также появления частичных разрядов в изоляционном слое при высоких и сверхвысоких значениях напряжения на линиях подстанций. Этим объясняется необходимость своевременного и качественного осуществления контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования в целях предупреждения пробоев изоляции и обеспечения бесперебойного функционирования силовых трансформаторных подстанций [4].

Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость проведения исследований, основными задачами которых являются: оценка технического состояния современных силовых трансформаторных подстанций, которые используются в системе железнодорожного транспорта Республики Казахстан, с акцентом на определение текущих проблем технического состояния маслonaполненного оборудования, выполняемого при проведении мониторинга частичных разрядов; разработка и внедрение методик акустических измерений, предназначенных для диагностики и анализа частичных разрядов на изоляционном покрытии трансформаторных подстанций, а также определения конкретного месторасположения дефектов трансформаторной изоляции; проведение научных экспериментов, направленных на изучение имеющихся методик диагностики суще-

ствующего оборудования силовых трансформаторных подстанций.

Проблемой существующих исследований вопросов осуществления контроля текущего технического состояния трансформаторных подстанций является отсутствие подробных и достоверных, проверенных практическим путём научных разработок использования методик акустического диагностирования технического состояния силовых трансформаторов [5]. Данная работа *предполагает* по возможности восполнить определённый пробел в изучении тематики использования методик акустического диагностирования для решения проблемных вопросов, связанных с контролем технического состояния оборудования силовых трансформаторных подстанций. В ходе исследования использовалась информация, полученная экспериментальным путём, при проведении конкретных научных экспериментов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основу методологии исследования составляет сочетание *методов* системного анализа существующих на сегодняшний день подходов к осуществлению контроля текущего технического состояния силовых трансформаторов с использованием методов акустического диагностирования с аналитическим исследованием принципиальных возможностей осуществления данных операций в системе железных дорог Республики Казахстан.

Теоретической базой данной научно-исследовательской работы выступают доступные публикации отечественных и зарубежных исследователей, посвящённые разнообразным теоретическим аспектам разработки принципов и создания методик контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования.

При проведении исследования была установлена следующая очерёдность этапов выполняемых работ.

На первом этапе было предпринято теоретическое исследование доступных научных публикаций, посвящённых исследованиям понятия акустического диагностирования, а также контроля технического состояния силовых трансформаторов с использованием данных методик. Теоретическое исследование предвзяло системный анализ существующих

на сегодняшний день подходов к осуществлению контроля текущего технического состояния силовых трансформаторов с использованием технологии акустического диагностирования, который также был последовательно выполнен на данном этапе научно-исследовательской работы.

На следующем этапе было проведено аналитическое исследование особенностей осуществления контроля технического состояния силовых подстанций методом акустического диагностирования в системе железных дорог Республики Казахстан. Кроме того, на данном этапе научно-исследовательской работы было проведено аналитическое сравнение полученных предварительных результатов с итоговыми результатами исследований других учёных, также занимавшихся изучением возможностей проведения контроля технического состояния оборудования трансформаторных подстанций посредством практического применения метода акустического диагностирования. Это обеспечило достаточно объективное восприятие полученных результатов в контексте их последующего практического применения для решения конкретных задач, возникающих в процессе эксплуатации трансформаторных подстанций в сфере железнодорожного хозяйства отдельно взятого государства.

На заключительном этапе исследования на основании полученных ранее результатов были сформулированы окончательные выводы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполнения задач исследования были проведены опытно-экспериментальные исследования, предполагающие размещение датчиков акустического типа на нескольких трансформаторах, использованных в качестве их объекта. Использовались датчики акустических разрядов «AC-Sensor», предназначенные для контактной регистрации импульсов частичных разрядов на поверхности изоляции и силового оборудования трансформаторных подстанций.

Методика предполагала соблюдение следующей последовательности выполнения опытно-экспериментального исследования:

1. К прибору, фиксирующему уровень частичных разрядов на поверхности изоляционного слоя силового трансформатора, при-



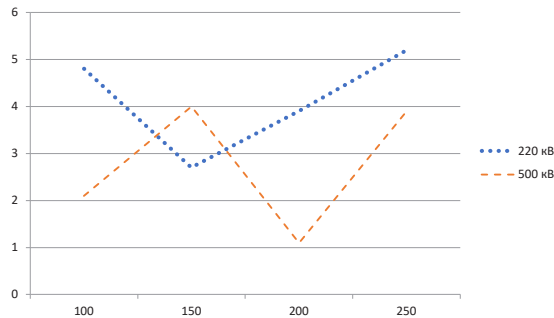


Рис. 1. Зависимость импульсов частичных разрядов от акустических импульсов, возникающих при размещении датчиков на поверхности изоляционного слоя [выполнено автором].

Таблица 1

Данные распределения обнаруженных в ходе эксперимента повреждений изоляционного слоя силовых трансформаторов по классам напряжений [выполнено автором]

Класс напряжений	110 кВ	150 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ	750 кВ	1100 кВ
Повреждения	42	28	34	15	6	1	5

соединяется акустический датчик «AC-Sensor», позволяющий фиксировать возникновение в системе частичных разрядов, а также характерных акустических импульсов. В том случае, если удаётся обнаружить область частичных разрядов, несколько акустических датчиков указанного типа располагаются последовательно на строго определённом расстоянии друг от друга. Полученные акустические сигналы регистрируются, и на основании полученных данных выстраивается чёткая последовательность.

2. Экспериментально определяется максимально допустимое пороговое значение акустического сигнала, которое может быть применено для последующих исследований.

3. Выстраиваются пороговые значения настроек непосредственно в областях обнаружения частичных разрядов, а также параметры помех, возникающих в случае превышения уровнем сигнала заданного порогового значения. Все указанные величины определяются типом трансформаторов и рассчитываются непосредственно в ходе проведения эксперимента исходя из конкретных исходных данных.

4. Все измерения были выполнены в течение предварительно обозначенного промежутка времени.

Было проведено распределение обнаруженных повреждений изоляционного слоя силовых трансформаторов непосредственно по классам напряжений, характерным для трансформаторов определённого класса.

Данные, полученные в ходе указанного распределения, представлены в табл. 1.

По результатам, полученным в ходе исследований с использованием акустических датчиков «AC-Sensor», построена графическая зависимость импульсов частичных разрядов от акустических импульсов, возникающих при размещении датчиков на поверхности изоляционного слоя. Данные представлены для двух трансформаторов с различными классами напряжений: 220 кВ и 500 кВ. Графическая зависимость указанного рода представлена на рис. 1.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, равномерное нарастание зависимости рассматриваемых показателей имеет место в случае практического применения силовых трансформаторов с классом напряжений не ниже 500 кВ. При использовании силовых трансформаторов с параметрами классов напряжений других типов практически отсутствует планомерное развитие зависимости импульсов частичных разрядов от акустических импульсов, возникающих при размещении датчиков на поверхности изоляционного слоя, что может в ряде случаев свидетельствовать о высокой вероятности возникновения пробоев изоляционного слоя силового трансформатора и создания аварийной ситуации [6]. Кроме того, налицо значительные перепады зависимости исследуемых параметров в ряде случаев, что может свидетельствовать о нарушениях эксплуатационного использования силовых трансформа-



Рис. 2. Методы контроля частичных разрядов и их обнаружения [составлено автором].

торов и проблемах с качеством материала изоляционного слоя, что крайне негативно сказывается на общем состоянии силовых трансформаторных подстанций в контексте перспектив их практического использования в будущем в системе железнодорожного транспорта Казахстана.

Методы обнаружения частичных разрядов и их измерения являются основополагающими с точки зрения изучения перспектив контроля технического состояния оборудования силовых трансформаторных подстанций. На рис. 2. отображены основные методы контроля частичных разрядов и их обнаружения в контексте перспектив их использования для проведения контроля технического состояния силовых железнодорожных подстанций. Акустические методы контроля, представленные на данной схеме, являются основными в контексте данного исследования и представляют собой наибольшую перспективу с точки зрения возможностей осуществления качественного контроля технического состояния силовых трансформаторов без прерывания их работы и отключения для выполнения необходимых исследований.

Акустические методы обнаружения частичных разрядов предполагают поиск и последовательное обнаружение, а также измерение величин колебаний, вызванных частичными разрядами. Высокая частота подобных звуковых колебаний может быть определена исключительно с использованием специальной регистрирующей аппаратуры. Кроме того, определяются время и место возникновения подобного разряда, а также его мощность. В последующем применение специальной аппаратуры для регистрации перепадов амплитуды звуковых колебаний может иметь существенное значение для получения результатов высокой точности, отражающих реальные возможности применения акустических методов обнаружения частичных разрядов.

При практическом использовании каждого метода предполагается применение датчи-

ков разного рода, которые используют в своей основе принципы преобразования акустических и электромагнитных колебаний в некотором диапазоне частот: сверхвысокочастотные, высокочастотные, среднечастотные и низкочастотные. Диапазон указанных датчиков может существенно различаться в зависимости от типа трансформаторного оборудования и особенностей его изоляционного слоя. Также при выборе метода и типа измерения необходимо принимать во внимание решаемые задачи и параметры электроэнергетической трансформаторной установки объекта железнодорожного транспорта. Для определения параметров частотных разрядов на небольших расстояниях высокую эффективность демонстрируют датчики сверхвысоких частот. К тому же они весьма компактны и могут быть легко размещены во внутреннем пространстве энергетических установок, таких, как статор электрического двигателя.

Особое внимание при регистрации частичных разрядов в изоляционном покрытии силовых трансформаторов следует уделить разрядам данного рода, возникающим в масляных прослойках, которые вступают в непосредственный контакт с изоляцией твёрдого типа. В подобных случаях, как правило, повреждения твёрдого изоляционного слоя избежать не удаётся, что предполагает необходимость проведения в последующем ремонтных работ для восстановления нарушенного изоляционного покрытия. Это обуславливает существенную опасность, которую представляют частичные разряды для электроэнергетического оборудования в контексте возможности его быстрого разрушения на определённых участках и возникновения пробоев изоляционного слоя.

Во избежание возникновения подобной ситуации необходимо осуществление комплекса мероприятий, в общем виде имеющих следующую направленность:

- выполнение мониторинга частичных разрядов с целью формирования качественной оценки технического состояния масляных



прослоек оборудования силовых трансформаторных подстанций, а также оценки возможностей нарушения твёрдого слоя изоляции за счёт воздействия частичных разрядов на масляные прослойки;

- внедрение в промышленных объёмах оборудования для диагностики и анализа величины частичных разрядов и образования дефектных участков в изоляционном покрытии силовых трансформаторов;

- проведение научных экспериментов в области диагностирования текущего технического состояния оборудования силовых трансформаторных подстанций и обеспечения их последующего бесперебойного функционирования с учётом возможностей разрушения изоляционного слоя.

Перспективы развития системы железных дорог Республики Казахстан во многом выстраиваются на качественной работе электроэнергетического оборудования, причём в данном контексте вопросы контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования играют важнейшую роль, поскольку позволяют поддерживать на должном уровне функционирование всего оборудования трансформаторных подстанций в течение продолжительного периода времени без проведения капитального ремонта и с обеспечением качественной профилактики текущего состояния оборудования трансформаторных подстанций и своевременным выявлением всех возможных дефектов эксплуатационного использования.

В последние несколько десятилетий в энергетических цехах отдельных предприятий железнодорожной отрасли и в целом в энергетическом секторе экономики Казахстана постепенно стали проявляться тенденции к последовательному переходу от практики проведения ремонтов планового характера, предназначенных для предупреждения возникновения неисправностей электрооборудования железнодорожного транспорта и профилактики возникновения проблем энергетической системы подвижного состава железных дорог, к выявлению и устранению реальных погрешностей технического состояния электрического оборудования, которое в основном практикуется в государствах с развитой экономикой и отлаженным функционированием системы железнодорожного транспорта. Подобное положение вещей

предполагает разработку и внедрение комплекса методов по своевременному диагностированию состояния электрического оборудования [7].

Бесперебойную работу силовых трансформаторов следует считать фактором, который во многом определяет безопасность функционирования промышленных предприятий, а также надёжность и качество снабжения электрической энергией организаций, принадлежащих к различным экономическим секторам. Качественное функционирование силовых трансформаторов обеспечивает согласование работы трансформаторных подстанций с системой, а также преобразование целого перечня параметров электроэнергии в необходимые для её последующего практического применения. Существенный уровень износа трансформаторного оборудования создаёт потенциальную опасность как для конечных потребителей, так и для персонала, в чьи непосредственные служебные обязанности входит обслуживание оборудования трансформаторных подстанций и контроль их технического состояния [8].

Энергетическая безопасность предприятий железнодорожной отрасли, по роду деятельности использующих силовые трансформаторы, которые во многом определяют качество энергообеспечения и надёжность функционирования всей энергосистемы железнодорожного транспорта, требует установления чёткой системы контроля технического состояния силовых трансформаторов, посредством использования разнообразных методов контроля, одним из которых является метод акустического диагностирования [9]. Использование трансформаторов рискованно само по себе, и высокая степень риска подобного использования представляет собой существенную опасность как для конечных потребителей электрической энергии, так и для обслуживающего персонала трансформаторных подстанций.

Внедрение диагностического оборудования в практику контроля за состоянием трансформаторных подстанций предполагает разработку серии подготовительных мероприятий, направленных на получение информации по текущим основным вопросам: выявление общего количества силовых трансформаторов с истекшим сроком эксплуатации, которые способны давать повышенное число отказов при их дальнейшем использовании; текущее

качество контроля функционирования силовых трансформаторных подстанций; выявленные нарушения принципов эксплуатации силовых трансформаторных подстанций согласно положениям государственных отраслевых стандартов; возможность постепенного перехода от практики проведения плановых ремонтов к ремонтам, обусловленным реальными проблемами технического состояния трансформаторной техники [10]. При этом следует принимать во внимание, что практика эксплуатации трансформаторного оборудования после окончания гарантийного срока его использования является общепринятой во всём мире, несмотря на то, что без принятия соответствующих мер по предотвращению и профилактике аварийных ситуаций она сопряжена с немалыми опасностями для оборудования трансформаторных подстанций. Также важным аспектом выступает практическая невозможность замены большого объёма трансформаторного оборудования в сжатые сроки, кроме того, она невыгодна с экономической точки зрения.

В современных экономических реалиях разработка и практическое применение методик контроля технического состояния оборудования силовых трансформаторных подстанций является одной из основных задач служб технического контроля предприятий, использующих в своей практической деятельности оборудование данного рода. Внеплановые остановки силовых трансформаторных подстанций, произошедшие по причине аварийного выхода из строя трансформаторного оборудования, приводят к значительным материальным потерям, а в ряде случаев могут обернуться непредсказуемыми последствиями [11]. В данном контексте задачи своевременного контроля состояния силовых трансформаторов, использующихся в железнодорожной отрасли, приобретают особую важность, поскольку неразрывно связаны с качеством функционирования подвижного состава железной дороги, а также способствуют повышению общего уровня безопасности железнодорожного хозяйства.

На протяжении последних двух десятилетий для диагностики технического состояния силовых трансформаторов использовалась методика регистрации частичных разрядов в высоковольтном оборудовании энергетических систем. Подобная методика показала высокую эффективность при её непосред-

ственном использовании в различных отраслях, в том числе и в системе железнодорожного транспорта, благодаря полученным высоким результатам. Кроме того, хорошие результаты были достигнуты при использовании метода локации зон электромагнитной активности, который применялся исключительно на поверхности трансформатора и предполагал установку на данной поверхности датчиков измерения, а также прочих измерительных устройств. Подобные меры давали возможность сформировать полноценное заключение относительно технического состояния узла силового трансформатора, в котором были обнаружены дефекты, а также проблемы изоляционного слоя, нарушения функционирования барьеров, дуги магнитопровода, появление искрений и т.п. [12]. Информация такого рода, наряду с данными о типах имеющего место разрядного явления и его места, может отождествляться с конструктивными особенностями как самого трансформатора, так и его активной части. Таким образом, показатели надёжности функционирования могут быть спрогнозированы с высокой степенью достоверности, поскольку заключение относительно возможности дальнейшего функционирования формируется на основании не просто общих оценок характеристик частичных разрядов, а принимая во внимание точное место их расположения. В данном контексте следует отметить, что появление частичных разрядов в местах крепления магнитопроводов трансформаторов не представляет существенной значимости, поскольку малые величины частичных разрядов в витковой изоляции не могут принести существенного вреда конструкции.

Постоянный контроль текущего технического состояния оборудования силовых трансформаторных подстанций системы железнодорожного транспорта является одной из основных задач современной системы обеспечения энергетической безопасности указанной транспортной системы. В данном контексте контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического зондирования представляется одним из наиболее благоприятных методов обеспечения непрерывной работы транспортной энергосистемы с учётом особенностей функционирования железнодорожного транспорта в условиях современных экономических реалий. В целом именно качественное и надёж-



ное функционирование силовых трансформаторов является необходимым условием для последовательного преобразования серии энергетических параметров в величины, необходимые для дальнейшего использования электрической энергии. При этом необходимо в обязательном порядке учитывать степень риска использования оборудования трансформаторных подстанций, поскольку нарушения условий эксплуатации силового трансформаторного оборудования может стать причиной возникновения существенных проблем как для обслуживающего персонала, так и для конечных потребителей электрической энергии [13].

Современное оборудование силовых трансформаторных подстанций, которые применяются в различных узлах и объектах системы железнодорожного транспорта, требует регулярного проведения качественного контроля технического состояния силовых трансформаторных подстанций с использованием самых современных методов диагностики. Параллельное использование различных методов диагностики технического состояния силового трансформаторного оборудования позволяет получить оптимальные результаты при сравнении эффекта от использования нескольких методов диагностики, а также подобрать оптимальный метод контроля исходя из реалий сложившейся ситуации. Кроме того, диагностика состояния трансформаторного оборудования необходима для своевременного обнаружения дефектов, которые могут иметь пагубные последствия с точки зрения соображений безопасности функционирования оборудования силовых трансформаторных подстанций. В данном контексте при проведении диагностики и после её завершения следует обращать особое внимание на организацию качественного ремонта и устранения обнаруженных дефектов, что в последующем обеспечит полноценное функционирование силовых трансформаторных подстанций на протяжении длительного времени [14].

Вместе с тем, система мониторинга технического состояния силовых трансформаторных подстанций повышает эффективность функционирования силовых трансформаторов объектов железнодорожного транспорта, поскольку частота проверок в сочетании с их качеством и направленностью позволяет вы-

полнить профилактику возникновения повреждений и прочих дефектов конструкции, что исключает в последующем возникновение и развитие проблемных ситуаций, связанных с нарушениями правил эксплуатации трансформаторного оборудования. В данном контексте следует отметить, что силовые трансформаторы относятся к группе электрического оборудования с самой высокой частотой проявления повреждений [15]. Проведённые в разное время исследования продемонстрировали, что высоковольтные вводы трансформаторов характеризуются наибольшей повреждаемостью, поскольку на них приходится около 22 % всех повреждений, на обмотки – примерно 16 %, на оборудование РПН (регулирования напряжения под нагрузкой) – 13,5 %. Отмечено, что подобные повреждения с одинаковой частотой возникают у трансформаторов с различными сроками эксплуатации, в то время как применительно к трансформаторам со сроком эксплуатации от 10 до 30 лет справедливо утверждение о том, что именно у них отмечена наибольшая частота выхода из строя оборудования РПН. Также отмечено, что после 10 лет эксплуатации силовых трансформаторных подстанций повышается частота повреждений высоковольтных вводов. При этом следует принимать во внимание тот факт, что наиболее существенной проблемой силовых трансформаторов, приводящей к нарушению их работы порой на продолжительное время, является короткое замыкание [16]. Согласно полученной аналитической информации, повреждение обмоток силовых трансформаторов приводит к коротким замыканиям в 80 % среди всех случаев нарушений и общего количества повреждений трансформаторных обмоток, повреждение высоковольтных вводов – до 89 % всех случаев, нарушения функционирования РПН – до 25 % всех случаев, в то время как повреждения остальных узлов, а также ошибки при монтаже, различных ситуациях, возникающих при эксплуатации оборудования и его ремонте в совокупности дают до 36 % всех случаев коротких замыканий [17].

Проведение качественной диагностики текущего технического состояния силовых трансформаторов, использующихся на различных железнодорожных объектах, зачастую требует использования специальных приборов, а также дополнительных методов локализации зон электромагнитной активности на

поверхности трансформатора. Совокупность применяющихся методик обеспечения высокого качества проверки технического состояния силовых трансформаторов, предполагающих использование методик акустического диагностирования и смежных с ними, обеспечивает широкую вариативность данных контроля, на основании которых может быть составлена полноценная картина текущего состояния системы энергообеспечения различных объектов железнодорожного транспорта и перспектив развития данной отрасли в последующем [18].

Сохранению высокого качества работ по диагностированию состояния электротехнического оборудования и обеспечению высокого уровня выполнения работ по профилактике поломок силовых трансформаторов в процессе эксплуатации способствует проведение специальных экспериментальных исследований, направленных на установление взаимосвязи между техническим состоянием трансформаторных подстанций и качеством функционирования энергетической системы железнодорожного транспорта в целом [19]. Посредством проведения исследований данного рода формируется возможность оценивать качество работы трансформаторных подстанций и формировать комплекс мероприятий, направленных на улучшение функционирования трансформаторных подстанций с учётом необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ при поломках основного оборудования силовых линий. Ремонтно-восстановительные работы в таком случае должны проводиться с учётом особенностей конкретных типов трансформаторов и степени поломок, причём качество ремонта оборудования силовых трансформаторных подстанций тесно связано с эффективностью определения причин возникновения поломок электрооборудования, а также временем определения [20].

Таким образом, вопросы контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования требуют детального изучения для формирования качественного понимания вопросов обеспечения энергетической безопасности и целостности важнейших узлов и объектов железнодорожного транспорта, в состав которых входит оборудование силовых трансформаторных подстанций. При этом уровень безопасности указанных объектов должен

быть соотносим с уровнем проведения мероприятий, направленных на поддержание безопасности энергетической системы в целом.

ВЫВОДЫ

Исследование ключевых аспектов выполнения контроля технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования привело к следующим выводам. Резонансные акустические датчики частичных разрядов «AC-Sensor» показали высокую эффективность в вопросах обнаружения частичных разрядов на поверхности изоляционного слоя оборудования силовых трансформаторных подстанций. Это обуславливает широкие перспективы использования датчиков данного типа в последующем, при проведении экспериментальных исследований и работ по определению основных особенностей технического состояния силовых трансформаторов с использованием методов акустического диагностирования. Данное оборудование продемонстрировало высокие эксплуатационные характеристики непосредственно при использовании данного метода.

В целом акустический метод контроля показал хорошие результаты, поскольку его основные достоинства, такие, как оперативность контроля и возможность снятия показаний при условии сохранения непрерывной подачи силового напряжения в целом позволяют сократить время проведения эксперимента с получением высокоточных результатов. Кроме того, метод акустического диагностирования с использованием датчиков частичных разрядов «AC-Sensor» показал высокую эффективность при определении причин возникновения нарушений на поверхности изоляционного слоя силовых трансформаторов, а также возможность максимально точной локализации участков возникновения подобных повреждений.

Проведение в последующем диагностических обследований силовых трансформаторов, применяющихся в системе железнодорожного транспорта Республики Казахстан, с использованием методик акустического диагностирования, позволяет существенно расширить представления относительно возможностей использования указанной методики для разрешения вопросов оценки техни-



ческого состояния современных трансформаторных подстанций.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, в последующем смогут послужить качественной теоретической базой для дальнейших исследований проблем и вопросов контроля технического состояния силовых трансформаторов, выполняемого с использованием различных современных методик, способных вывести на качественно новый уровень исследования в сфере обеспечения безопасности эксплуатационного использования электроэнергетического оборудования, применяющегося в системе железнодорожного транспорта на сегодняшний день.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Forsthoffer, M. Forsthoffer's Component Condition Monitoring. 1st ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2018, 204 p. ISBN 9780128097724.
2. Papaefthymiou, M., Marquez, F. P. G., Karyotakis, A. Non-Destructive Testing and Condition Monitoring Techniques for Renewable Energy Industrial Assets. 1st ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2019, 404 p. ISBN 9780128097472.
3. Kaneko, A.; Xiao-Hua, Zhu; Ju, Lin. Coastal Acoustic Tomography. Oxford, Elsevier, 2020, 362 p. ISBN 9780128185070.
4. Meshkinzar, A., Al-Jumaily, A. M., Harris, P. D. Acoustic Amplification Utilizing Stepped-Thickness Piezoelectric Circular Cylindrical Shells. Journal of Sound and Vibration, 2018, Vol. 437, pp. 110–118. DOI: 10.1016/j.jsv.2018.08.033.
5. Кузнецов А. А., Кузьменко А. Ю., Кузнецова М. А., Симак А. В. Определение пороговых значений при диагностировании изоляции высоковольтного оборудования методами регистрации частичных разрядов // Омский научный вестник. – 2019. – № 2 (164). – С. 30–35. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-164-30-35.
6. Janssen, L. A. L., Arteaga, I. L. Data processing and augmentation of acoustic array signals for fault detection with machine learning. Journal of Sound and Vibration, 2020, Vol. 483, article number 115483. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115483.
7. Карандаев А. С., Евдокимов С. А., Карандаева О. И., Мостовой С. Е., Чертоусов А. А. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2018. – № 26. – С. 26–31. [Electronic resource]: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/662/5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Last accessed 27.05.2021.
8. Карандаев А. С., Евдокимов С. А., Девятков Д. Х., Парсункин Б. Н., Сарлыбаев А. А. Диагностирование силовых трансформаторов методом акустической локализации частичных разрядов // Вестник Магнитогорского

государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2012. – № 1. – С. 105–108. [Electronic resource]: http://www.vestnik.magtu.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2012_1_%D1%81_105-108.pdf. Last accessed 27.05.2021.

9. Malik, H., Fatema, N., Iqbal, A. Intelligent data-analytics for condition monitoring: Smart Grid Applications. London, Academic Press, 2021, 491 p. ISBN 9780323855112.
10. Blanloeuil, P., Francis Rose, L. R., Veidt, M., Wang, Chun H. Time reversal invariance for a one-dimensional model of contact acoustic nonlinearity. Journal of Sound and Vibration, 2017, Vol. 394, pp. 515–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.01.050>.
11. Arroyo, C. P., Leonard, T., Sanjose, M., Moreau, S., Duchaine, F. Large eddy simulation of a scale-model turbofan for fan noise source diagnostic. Journal of Sound and Vibration, 2019, Vol. 445, pp. 64–76. DOI: 10.1016/J.JSV.2019.01.005. [Electronic resource]: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02419816/document>. Last accessed 27.05.2021.
12. Weilenmann, M., Noiray, N. Experiments on sound reflection and production by choked nozzle flows subject to acoustic and entropy waves. Journal of Sound and Vibration, 2021, Vol. 492, article number 115799. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115799.
13. The Power Grid: Smart, Secure, Green and Reliable. 1st ed. Editor Brian W. D'Andrade. London, Academic Press, 2017, 352 p. Paperback ISBN 9780128053218, eBook ISBN 9780081009529.
14. Bjørnø, Leif. Applied Underwater Acoustics. 1st ed. Editors Th. Neighbors, D. Bradley. Oxford, Elsevier, January 19, 2017, 980 p. eBook ISBN 9780128112472, Paperback ISBN 9780128112403.
15. Correa, J. C. A. J., Guzman, A. A. L. Mechanical Vibrations and Condition Monitoring. 1st ed. London, Academic Press, 2020, 208 p. Paperback ISBN 9780128197967, eBook ISBN 9780128203903.
16. Varanasi, S., Siegmund, T., Bolton, J. S. Acoustical characteristics of segmented plates with contact interfaces. Journal of Sound and Vibration, 2020, Vol. 485, article number 115584. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115584. [Electronic resource]: <https://arxiv.org/pdf/2102.04987v1.pdf>. Last accessed 27.05.2021.
17. Elasha, F., Greaves, M. J., Mba, D., Fang, D. A comparative study of the effectiveness of vibration and acoustic emission in diagnosing a defective bearing in a planetary gearbox. Applied Acoustics, 2017, Vol. 115, pp. 181–195. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.07.026>. [Electronic resource]: <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/11144>. Last accessed 27.05.2021.
18. Kuryliak, D., Lysenko, V. Acoustic plane wave diffraction from a truncated semi-infinite cone in axial irradiation. Journal of Sound and Vibration, 2017, Vol. 409, pp. 81–93. DOI: 10.1016/j.jsv.2017.07.035.
19. Wang, Yuebing; Sun, Min; Cao, Yonggang; Zhu, Jiang. Application of optical interferometry in focused acoustic field measurement. Journal of Sound and Vibration, 2018, Vol. 426, pp. 234–243. DOI: 10.1016/j.jsv.2018.04.023.
20. Yang, Lietai. Techniques for Corrosion Monitoring. 2nd ed. Sawston, Woodhead Publishing, 2020, 618 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01137-8>. ISBN 978-0-08-103003-5. ●

Информация об авторе:

Еркебаев Айбек Жомартович – аспирант кафедры электроснабжения железнодорожного транспорта Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Омск, Россия / Алматы, Казахстан, erkebaev7397-1@murdoch.in.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021, одобрена после рецензирования 14.02.2022, принята к публикации 21.02.2022.



Потенциал применения комплекса экспресс-диагностики (Exsys, ИМДЦ-2) для тепловозных дизелей



Вячеслав Владимирович Егоров

Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К. А. Тимирязева (РГАУ–МСХА), Москва, Россия.

✉ egorov-empt@rgau-msha.ru.

Вячеслав ЕГОРОВ

АННОТАЦИЯ

В работе раскрываются аспекты применения разработанного автором аппаратно-программного комплекса экспресс-диагностики двигателей внутреннего сгорания.

Целью исследований является разработка алгоритмов, аппаратной и программной основ для системной диагностики тепловозных дизелей как комплексной методологии, направленной на локализацию неисправностей оптимальным путём.

К методам исследований относятся математическое моделирование для формирования алгоритма работы экспертной системы; методы наблюдения и эксперимента, используемые при конструкторской работе и совершенствовании разрабатываемого аппаратно-программного комплекса.

Использование методов оперативной диагностики является главным фактором для перехода к более эффективной системе технического сервиса по состоянию, позволяющей за счёт диагностирования при низких видах ТО предотвращать внезапные отказы, а также избегать демонтажа узлов с достаточным для дальнейшей эксплуатации ресурсом. Оперативные методы диагностики делятся на органолептические и индикаторные и относятся к первым двум уровням системной диагностики как практической методологии и научной дисциплины.

Органолептические данные основываются на органах восприятия человека и могут быть формализованы при помощи разработанной автором экспертной системы Exsys на основе открытых баз данных корреляции неисправностей с их признаками, позволяющей в диалоговом режиме локализовать неисправность по совокупности наблюдаемых внешних признаков, таких, как дымный выхлоп определённого цвета, нестабильная работа на холостом ходу и т.д.

Вторая разработка, комплекс «ИМДЦ-2», относится к индикаторным методам, представляя подкласс динамической диагностики. Комплекс состоит из аналого-цифрового преобразователя с устанавливаемым на двигатель датчиком частоты вращения вала и компьютерной программы, интерпретирующей получаемые данные. ИМДЦ-2 позволяет определять мощность двигателя, строить кривые разгона/выбега и получать ряд других характеристик, важных для диагностики, например, зависимость углового ускорения свободного разгона двигателя от частоты вращения его вала. Обе разработки могут быть в полной мере применены к тепловозным дизелям после незначительной доработки, что повысит точность выявления неисправностей и уменьшит время их локализации.

Ключевые слова: транспорт, тепловозный дизель, двигатель внутреннего сгорания, техническая диагностика, экспертная система, индикаторные методы.

Для цитирования: Егоров В. В. Потенциал применения комплекса экспресс-диагностики (Exsys, ИМДЦ-2) для тепловозных дизелей // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-3>.

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 современных экономических условиях одним из важных факторов увеличения производительности предприятий транспорта и иных отраслей является повышение коэффициента готовности, иными словами – снижение простоев на техническом обслуживании (ТО) и ремонте (ТОР) при соответственном увеличении времени полезной работы. Эти цели могут быть достигнуты путём внедрения элементов сервиса по состоянию. В рамках данной системы периодичность ТОР различных узлов объекта (локомотива, трактора, автомобиля...) определяется путём диагностики ресурса при возможно низших видах ТОР.

Гибкая система диагностических методов, средств и технологий получила название системной диагностики. Её научное обоснование было получено в нашей стране ещё в начале 1970-х годов учёными института ГОСНИТИ: В. И. Бельских, В. М. Михлиным, В. А. Чечетом. В ходе эксперимента, отражённого в работе [1], определено, что корректировка ремонтно-обслуживающих воздействий по результатам предремонтного диагностирования тракторов позволяет снизить объём капитальных ремонтов (КР) практически на 30 %, в том числе с переводом части КР к текущим ремонтам. Также применение элементов сервиса по состоянию позволяет снизить число отказов в эксплуатации, а следовательно – число внеплановых ремонтов (для сельскохозяйственной отрасли, в которой проводился описанный эксперимент, данный фактор особенно важен, поскольку энергонасыщенные работы сосредоточены во времени, и выход из строя одной единицы техники может серьёзно повлиять на производительность).

Структура ремонтного цикла на транспорте схожа с применяемой в агропромышленном комплексе, поэтому внедрение в неё системной диагностики может быть проведено по аналогичным алгоритмам. Также комплексная диагностика применяется на пунктах технического осмотра автомобилей, оборудование которых подробно рассмотрено в монографии [2], что позволяет повысить безопасность дорожного движения.

В настоящее время интенсивное развитие микропроцессорной техники, в том числе аналого-цифровых преобразователей (АЦП), позволяет в значительной мере расширить

возможности диагностики как двигателей внутреннего сгорания, так и элементов тягового привода локомотивов и иных мобильных средств. В частности, немаловажную роль играет возможность подключения АЦП к компьютеру с последующим выводом показаний для текущей индикации и дальнейшей обработки. Помимо того, подобный формат диагностики позволяет снизить количество механических элементов в диагностическом оборудовании, ограничив его непосредственно установкой датчиков (давления, вибрации и т.п.). Всё это вкупе с современными методами обработки данных способствует повышению точности и снижению трудоёмкости диагностирования.

Цель исследований

Целью диагностики в целом является локализация неисправностей, вызвавших тот или иной отказ, либо определение остаточного ресурса объекта. В рамках настоящей работы *целью* исследований и проектирования является разработка и модернизация методов и средств диагностики двигателей внутреннего сгорания, ориентированных на методологию системной диагностики.

Методы исследований

Разработка описываемого аппаратно-программного комплекса на всём своём протяжении тесно связана с *методами* наблюдения и эксперимента, для разработки алгоритмического ядра экспертной системы применялось математическое моделирование. Также немаловажным методом при подобной работе является обзор литературы, позволяющий конкретизировать требования к результатам работы, а также избежать возможных ошибок.

Обзор современных методов экспресс-диагностики ДВС

В рамках системной диагностики, основы которой изложены коллективом кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве («ЭМТП и ВТР») Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева (РГАУ-МСХА), включая автора, в работе [3], принято деление на три уровня диагностических методов и средств: органолептические, индикаторные и углублённые.

Первый уровень заключается в формализации *органолептических признаков* работы двигателя и использовании полученных данных для постановки диагноза. Органолептическими признаками называют те характеристики работы объекта, которые могут быть получены без специального инструментария, лишь при помощи органов чувств. К подобным признакам можно отнести: цвет выхлопа, неустойчивую работу двигателя, перегрев и т.д.

Главной задачей здесь является именно формализация признаков и их комплексное использование. Подобные интеллектуальные задачи могут быть решены лишь экспертами в области диагностики, обладающими большим опытом эксплуатации и обслуживания ДВС. Специалисты такого уровня являются очень ценным и редким кадровым ресурсом. Частично взять на себя их обязанности способны так называемые экспертные системы, являющиеся в некотором роде искусственным интеллектом, моделирующим мышление экспертов-диагностов. Входными данными для экспертных систем могут являться как органолептические признаки, так и показания датчиков.

В отечественной практике экспертные системы разрабатываются преимущественно для анализа данных, поступающих от датчиков, устанавливаемых на объект для проведения диагностики. Бытует мнение, что бортовые электронные системы наземной техники обладают широким спектром диагностических возможностей, однако, как установлено автором в работе [4], это в полной мере справедливо лишь для таких транспортных средств, как современные тепловозы. В частности, авторами работы [5] разработана экспертная система, использующая показания бортовых датчиков тепловоза для мониторинга работы и постановки диагнозов. Применительно конкретно к дизельным двигателям отечественными учёными разработан ряд экспертных систем, подобных описанной в работе [6], однако, их применение ограничено тем, что данные системы представляют собой лишь модели, требующие внешнего программного обеспечения для работы. Таким образом, представляет интерес реализация самодостаточной экспертной системы, способной работать без привязки к иным программам.

Ко *второму уровню* системной диагностики относят *индикаторные методы*, по-

зволяющие получать показания в оперативном режиме с помощью датчиков, установка которых не трудоёмка. Характерной особенностью подобных методов является не слишком высокая точность, которая компенсируется оперативностью и комплексным применением индикаторной диагностики. Данные от одиночного метода неспособны дать полноценное представление о состоянии объекта, но проведение дополнительных исследований способно в значительной мере повысить точность постановки диагноза.

Как правило, индикаторные методы подразделяют по физическим процессам, лежащим в их основе, на, например:

- пневматические методы, использующие параметры состояния (давление, в том числе и в динамике, расход) газовой среды в различных точках двигателя. Подобные методы описаны, к примеру, в работе [7];
- гидравлические методы, при проведении которых наблюдают за показателями, связанными с эксплуатационными жидкостями двигателя (масло, топливо, охлаждающая жидкость) [8];
- акустические и вибрационные методы, основанные на анализе осциллограмм механических колебаний [9];
- электрические методы, ориентированные на процессы, происходящие в электрооборудовании двигателя: к примеру, анализ осциллограммы тока стартера;
- динамические методы, позволяющие по показателям динамики двигателя (разгон, выбег, поведение на холостом ходу) выявлять снижение его рабочих показателей и устанавливать ключевые точки для дальнейшего поиска неисправностей.

Углубленные методы, составляющие *третий уровень* системной диагностики, обладают наивысшей точностью диагноза, но требуют подраборки двигателя для доступа к диагностируемому узлам. Применительно к тепловозным дизелям углублённые методы изучаются, к примеру, сотрудниками кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта В. Н. Балабиным, В. З. Какоткиным, И. И. Лобановым, что отражено в работе [10].

Иностранцами специалистами сформирован несколько иной подход к диагностике ДВС, поскольку в практике ряда стран к диагностике относят также мониторинг



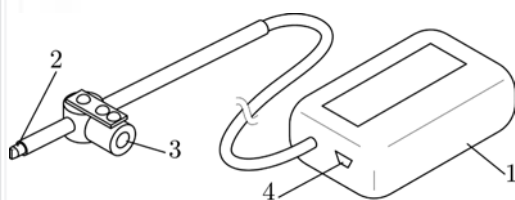


Рис. 1. Прибор ИМДЦ-2 [выполнено автором].

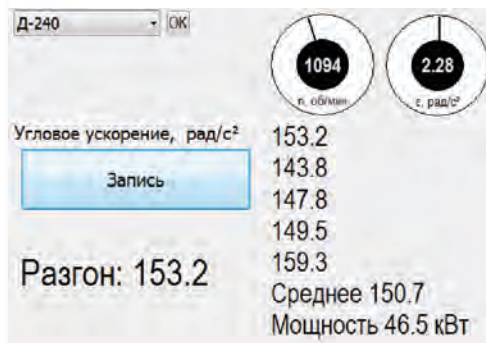


Рис. 2. Интерфейс программы-интерпретатора ИМДЦ-2. Снимок экрана при работе с двигателем Д-240 [выполнено автором].

экологических показателей двигателя и даже непосредственно изучение процессов сгорания в цилиндре. Примером может служить монография [11] авторов из Индии и США, затрагивающая многие связанные с дизельными двигателями вопросы. В восточноевропейских же странах понятие диагностики ближе к отечественной практике, к примеру, в статье [12] авторов из Словакии в таком ключе рассмотрены вопросы диагностирования двигателя рельсового автобуса серии 812.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Комплекс экспресс-диагностики ДВС и его модернизация

Автором разработан и модернизируется аппаратно-программный комплекс экспресс-диагностики, состоящий из экспертной системы Exsys (свидетельство о регистрации [13]) и комплекса «ИМДЦ-2» динамической диагностики.

Экспертная система Exsys основана на нечёткой логике и использует условные вероятности P_{ij} наличия признака S_j при неисправности D_i . Также учитывается так называемый коэффициент S_i силы, характеризующий силу проявления наблюдаемого признака либо уверенность оператора в его наличии. После выбора пользователем признаков реализуется первый проход работы так называемого ин-

версного алгоритма, основанного на двойном отрицании:

$$P_i = 1 - \prod_j (1 - s_j \cdot P_{ij}). \quad (1)$$

Алгоритмом определяются вероятности P_i наличия неисправностей («апостериорные»), представляемые программой в виде списка по убыванию. Если ни для одной из неисправностей не была получена установленная точность диагноза (80 %), система в режиме диалога с пользователем выделяет так называемые превалирующие неисправности, у которых апостериорная вероятность выше 0,5 от максимальной. Для каждой из них по аналогичному механизму определяются превалирующие признаки. Следующим шагом алгоритма является вычисление по формуле (1) максимального относительного отклонения $\Delta_{\max}^{\text{отн}}$ для определения наиболее характерных, «контрастных» признаков, позволяющих наиболее эффективно отделить возможные неисправности:

$$\Delta_{\max}^{\text{отн}} = P_{\max} \left(\frac{P_{\max} \cdot N}{\sum_{j=1}^N P_{ij}} - 1 \right), \quad (2)$$

где $P_{\max}$ – максимальная условная вероятность для текущего признака;

N – количество рассматриваемых превалирующих неисправностей.

После достижения требуемой точности диагноза либо при исчерпании возможностей диалогового режима программа показывает окончательный список возможных неисправностей. При выборе конкретной неисправности отображается краткая справка по ней.

Для системы Exsys также создана теоретическая основа распознавания индикаторных показателей с дальнейшим преобразованием их в условные вероятности.

Программа Exsys версии 1.0 реализована на языке программирования Delphi.

Аппаратно-программный комплекс ИМДЦ-2 предназначен для определения динамических показателей двигателя на переходных режимах. Принцип работы комплекса основан на измерении частоты вращения коленчатого вала и определении показателей её динамики. Название комплекса является непосредственной отсылкой к прибору ИМД-Ц, разработанному в 1980-х годах, но на текущий момент устаревшему. Оба прибора способны определять мощность двигателя без применения стационарного оборудования,

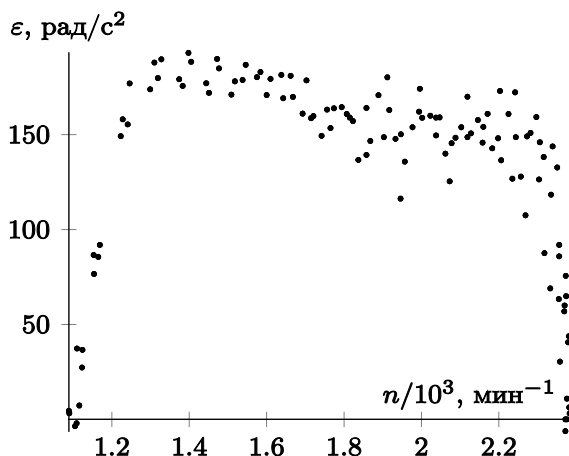


Рис. 3. Зависимость углового ускорения разгона коленчатого вала от частоты его вращения (дизель Д-240). Экспериментальные данные, отрисовка средствами PGFPlots [выполнено автором].

такого, как пост реостатных испытаний или динамометрические стенды, работа которых для автомобилей рассмотрена в статье [14].

ИМДЦ-2 представлен на рис. 1 и состоит из датчика 2, его крепления 3 и подключаемого к компьютеру АЦП 1. Датчик фиксирует прохождение магнита, вклеенного в диск-отметчик, устанавливаемый на шкив коленчатого вала двигателя. На компьютер устанавливается программа-интерпретатор, которая соответственно рис. 2 отображает текущую частоту вращения вала двигателя и его угловое ускорение. Диагностика производится при резком нажатии на педаль управления подачей топлива, при этом обороты двигателя возрастают до максимальных, и программа отображает полученное угловое ускорение в точке номинальных оборотов. По результатам пяти последовательных измерений определяется среднее значение углового ускорения, по которому согласно оцифрованным номограммам¹ определяется мощность двигателя. При нажатии кнопки «Запись» производится запись в файл следующих показателей: время одного оборота в микросекундах, частота вращения и угловое ускорение вала двигателя. Также высокий интерес представляют получаемые зависимости углового ускорения от оборотов двигателя, форма которых, предположительно, может изменяться в зависимости от неисправностей двигателя, что подлежит дальнейшему исследованию на

широком спектре моделей двигателей. Подобная характеристика приведена на рис. 3. При рассмотрении в осях времени разгонные характеристики (рис. 4) могут быть полезны для диагностики регулятора дизеля, что частично рассмотрено в работе [15].

Комплекс ИМДЦ-2 выполнен на низкобюджетной аппаратной основе, что позволяет широко применять его в депо, на пунктах технического осмотра и даже в полевых условиях. Установка датчика и диска-отметчика выполняется оперативно, единственным условием является остановка дизеля.

К слабым местам первого поколения комплекса можно отнести следующие факторы:

- использование в экспертной системе баз, основанных на таблицах Microsoft Excel, что требует установки дополнительного программного обеспечения не только для редактирования баз, но и для непосредственной работы экспертной системы с ними;
- сложность использования формульных данных: язык Delphi, несмотря на удобство, является устаревшим и не имеет механизма распознавания текстовых формул в программный код;
- низкая скорость передачи данных от АЦП: данные передаются в текстовом виде, что значительно снижает частоту дискретизации получаемых данных;
- сниженная по сравнению с прибором ИМД-Ц точность, которая, впрочем, компенсируется за счёт увеличения повторностей измерений. Помимо того, в ИМДЦ-2 полностью исключена неточность настройки.

В связи с этим в настоящее время автором полностью перерабатывается программная

¹ Чечет В. А., Егоров В. В., Майстренко Н. А., Бутузов А. Е., Левшин А. Г. Техническая диагностика тракторов: Учебное пособие. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – 2018. [Электронный доступ]: <http://elibrary.ru/fulltext/?text=Egorov.pdf&en=info>. Доступ 27.08.2021.



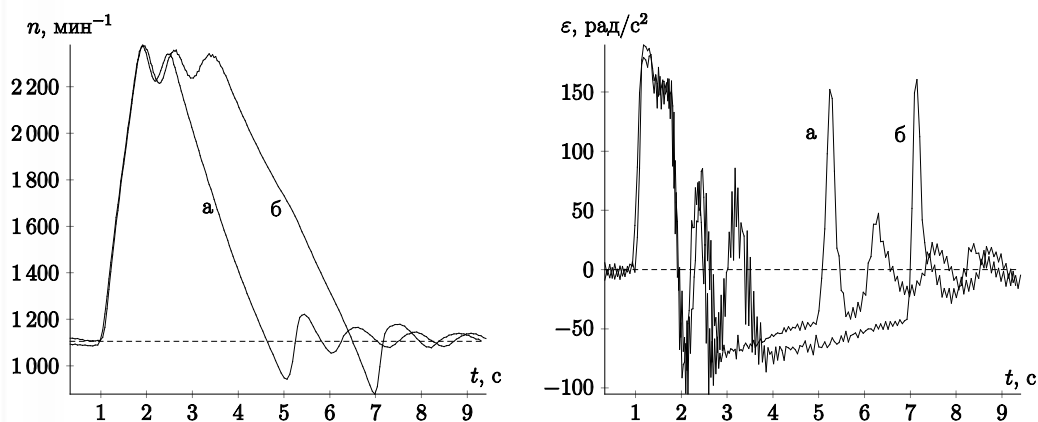


Рис. 4. Осциллограммы оборотов двигателя и углового ускорения (дизель Д-240). Экспериментальные данные, отрисовка средствами PGFPlots [выполнено автором].

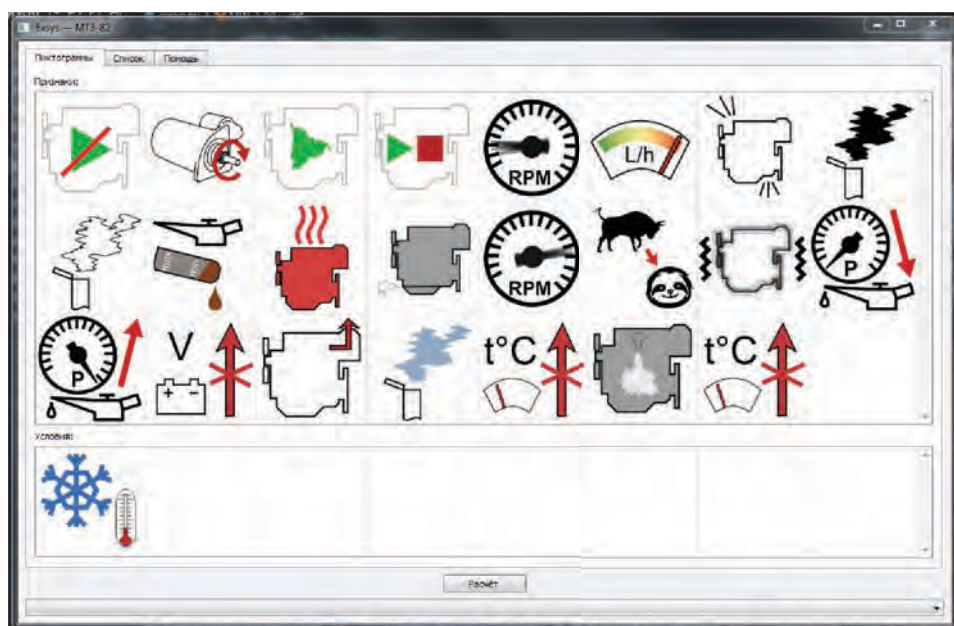


Рис. 5. Графический интерфейс экспертной системы Exsys v2.0. Снимок экрана при диагностике дизеля Д-240 [выполнено автором].

основа комплекса на базе языка Python, широко применяемого для решения задач научных исследований и искусственного интеллекта. К полученным результатам можно отнести следующие:

- за счёт перехода к побайтовой передаче данных повышена частота дискретизации до 7 кГц, что позволяет реализовать на подобной аппаратной основе низкобюджетный осциллограф для снятия циклических процессов, происходящих в двигателе;
- файлы баз данных экспертной системы не зависят от внешнего программного обеспечения и хранят внутри себя все необходи-

мые данные с возможностью включения формул, изображений и т.д.;

- за счёт использования графической оболочки PyQt значительно повышено удобство работы с экспертной системой, в том числе с переходом к использованию символьной графики (рис. 5).

Адаптация комплекса для тепловозных дизелей не представляется сложной задачей, поскольку происходящие с двигателями процессы одинаковы для всех дизелей. Более того, поскольку частота вращения коленчатого вала у тепловозных дизелей ниже, представляется возможным разместить на

диске-отметчике несколько магнитов (единственным условием будет высокая точность размещения магнитов, достижимая, к примеру, с использованием станков лазерной резки). Сам по себе магнитный принцип работы прибора также не является единственным и может быть заменён оптическим датчиком, фиксирующим прорезы на диске-отметчике.

В настоящее время ведётся работа по модификации прибора ИМДЦ-2 для использования в научно-исследовательской работе кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ на примере дизеля Д49.

ВЫВОДЫ

Описанный аппаратно-программный комплекс диагностики ДВС обладает высоким потенциалом применения для диагностики дизелей всех типоразмеров, в том числе тепловозных и судовых. При внесении некоторых изменений в конструкцию возможно повышение точности применительно к тепловозным дизелям. К главному преимуществу комплекса можно отнести его низкобюджетное исполнение и оперативность установки, что позволяет в полевых условиях произвести диагностику дизеля с дальнейшей локализацией возможных неисправностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бельских В. И. Показатели технического состояния тракторов и средства для их определения // Техника в сельском хозяйстве. – 1971. – № 9. – С. 70.
2. Калявин В. П., Давыдов Н. А. Надёжность и диагностика автомобилотранспортных средств: Монография. – СПб.: Элмор, 2014. – 466 с.
3. Четч В. А., Левшин А. Г., Скороходов А. Н., Егоров В. В. Основные положения системной диагностики машин // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ им. В. П. Горячкина». – 2018. – № 6 (88). – С. 51–55. [Электронный ресурс]: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-09-2018-06.pdf/download/vmgau-09-2018-06.pdf>. Доступ 27.08.2021.
4. Егоров В. В. Область применения бортовой диагностики самоходных технических средств // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 100-летию И. С. Шатилова. – РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2017. – С. 295–297. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36668361>. Доступ 27.08.2021.
5. Ким С. И., Харитонов В. И., Долганова Е. В., Ким С. В. Встроенная экспертная система для

оперативной тестовой диагностики локомотива, оборудованного системой МСУ-Т (П, Э) // БРНИ. – 2014. – № 4 (13). – С. 46–50. [Электронный ресурс]: <http://brni.info/download/%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-16-17.pdf>. Доступ 27.08.2021.

6. Полковникова Н. А., Курейчик В. М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 1 (150). – С. 83–92. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21111405>. Доступ 27.08.2021.

7. Колунин А. В., Шудыкин А. С., Белокопытов С. В. Определение состояния цилиндропоршневой группы двигателей военной техники по расходу картерных газов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 583–588. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36573798>. Доступ 27.08.2021.

8. Шевцов Ю. Д., Дудник Л. Н., Чернуха Ю. В., Фадеев Е. Д., Никифоров А. М. Алгоритм диагностики технического состояния двигателя по параметрам частотных характеристик масляного фильтра // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2018. – № 4. – С. 63–70. [Электронный ресурс]: <https://infocom.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2018/4/63-70.pdf>. Доступ 27.08.2021.

9. Гриценко А. В. Диагностирование газораспределительного механизма виброакустическим методом // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2017. – № 3. – С. 48–57. DOI: 10.14529/engin170306.

10. Балабин В. Н., Какоткин В. З., Лобанов И. И. Результаты применения комплексной системы контроля и диагностики локомотивных дизелей // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 9. – С. 11–16. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22025115>. Доступ 27.08.2021.

11. Agarwal, A. K., Gupta, J. G., Sharma, N., Singh, A. P. Advanced Engine Diagnostics. Singapore, Springer, 2019, pp. 3–6. DOI: 10.1007/978-981-13-3275-3_1.

12. Ondriga, J., Zvolenský, P., Hřeček, S. Application of technical diagnostics in the maintenance of the internal combustion engine of diesel multiple units 812 series. Transportation Research Procedia, 2021, Vol. 55, pp. 637–644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.030>.

13. Экспертная система технической диагностики на открытых базах (Exsys v1.0). – Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2019612928 / В. А. Четч; В. В. Егоров (заявл. 02.2019). [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39311673>. Доступ 27.08.2021.

14. Савенков Н. В., Понякин В. В., Чекулаев С. А., Бутенко В. В. Анализ характеристик современного оборудования для определения тягово-скоростных свойств автомобилей в лабораторных условиях // Вестник СибАДИ. – 2019. – № 3 (67). – С. 276–289. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38538411>. Доступ 27.08.2021.

15. Джалолов У. Х., Юнусов Н. И., Турсунбадалов У. А., Зиёев Ш. Ш., Хасанов Дж. Р. Идентификация параметров разгонной характеристики двигателя внутреннего сгорания // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 35. – С. 43–56. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.03.

Информация об авторе:

Егоров Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук, инженер путей сообщения, старший преподаватель кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве («ЭМТП и ВТР») Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева (РГАУ–МСХА), Москва, Россия, egorov-emp@rgau-msha.ru.

Статья поступила в редакцию 27.08.2021, одобрена после рецензирования 03.12.2021, принята к публикации 17.12.2021.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.396

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-4>

Фазовый преселектор, подавляющий зеркальный канал в радиоприёмнике



Анатолий ВОЛКОВ



Максим МОРОЗОВ

Анатолий Алексеевич Волков¹,
Максим Сергеевич Морозов²

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² АО «Метротранс», Москва, Россия.

✉ ² raconteurs.mm@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

До сих пор в радиоприёмнике для подавления зеркального канала используется частотный преселектор, состоящий из колебательных контуров входного устройства и усилителя радиочастоты. Но он недостаточно сильно подавляет зеркальный канал. Поэтому в системах железнодорожной радиосвязи часто используют два преобразования частот. Например, для станционной радиосвязи на частотах $f = 151\text{--}156\text{ МГц}$ используют $f_{\text{пр1}} = 24\text{ МГц}$ и $f_{\text{пр2}} = 1,596\text{ МГц}$, что значительно усложняет приёмник.

В данной статье предлагается использовать фазовый преселектор, который является вторым параллельным квадратурным преобразователем частоты, сигнал которого, пройдя дополнительные элементы, суммируется с сигналом первого преобразователя частоты с высоким подавлением зеркального канала. При таком способе организации

связи полосовой фазовращатель будет проблемным блоком в фазовом преселекторе, поскольку он должен иметь малую погрешность $\Delta\varphi$.

Представлен полосовой фазовращатель, выполненный на RC-цепочках с минимальной погрешностью фазового сдвига $\Delta\varphi = 0,1^\circ$ в полосе частот 25 кГц. В случае увеличения полосы частот погрешность фазового сдвига остаётся минимальной, однако необходимо использовать усилители-ограничители для выравнивания амплитуд сигналов на его выходе.

Использование фазового преселектора вместо частотного поможет снизить промежуточную частоту, что приведёт к высокой избирательности как по соседнему, так и по зеркальному каналам с однопольной модуляцией, а также упростит и удешевит приёмник сигналов.

Ключевые слова: транспорт, связь, фазовый и частотный преселекторы, избирательность по зеркальному и соседнему каналам, полосовой фазовращатель на 90° , фазоинвертор, RC-цепочки, перемножители сигналов, усилители-ограничители по амплитуде.

Для цитирования: Волков А. А., Морозов М. С. Фазовый преселектор, подавляющий зеркальный канал в радиоприёмнике // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-4>.

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

Радиосвязь играет большую роль для обеспечения бесперебойности и безопасности перевозок на всех видах транспорта, в том числе на железнодорожном.

Важнейшей проблемой является обеспечение надёжности связи, передачи сигнала без существенных искажений. При этом до сих пор в радиоприёмнике для подавления зеркального канала используется частотный преселектор, состоящий из колебательных контуров входного устройства и усилителя радиочастоты, который недостаточно сильно подавляет зеркальный канал. Поэтому в системах железнодорожной радиосвязи часто используют два преобразования частот.

В данной статье предлагается использовать фазовый преселектор, который является вторым параллельным квадратурным преобразователем частоты, сигнал которого, пройдя дополнительные элементы, суммируется с сигналом первого преобразователя частоты с высоким подавлением зеркального канала.

Фазовый преселектор подавляет зеркальный канал в радиоприёмнике эффективнее, чем известный частотный преселектор, и в приёмнике они используются вместе [1–4]. Это позволяет иметь высокую избирательность по зеркальному каналу и выбирать только одну низкую промежуточную частоту $f_{пр} = 465 \text{ кГц}$, при которой высока избирательность и по соседнему каналу. Принцип работы фазового преселектора базируется на двукратной однополосной модуляции (ОБП АМ), когда каждая из двух боковых полос амплитудно-модулированного (АМ) колебания без несущей несут разную информацию,

т.е. двух каналов. В радиоприёмнике эти каналы разделяются по схеме, предложенной советским учёным Е. Г. Момотом [5]. Изобретения автора по данной тематике изложены в его монографии «Проектирование и техника синхронного радиоприёма», первоначально изданной в Ленинграде в 1941 году. Но в 1941 году началась Великая Отечественная война и при вражеском авианалёте на блокадный Ленинград сгорела типография, в которой находился весь тираж монографии Евгения Момота. И только после Великой Отечественной войны случайно удалось найти сигнальный экземпляр этой монографии и второй раз издать её в 1961 году, т.е. ровно через 20 лет. Эта предыстория появления второго издания изложена в предисловии к нему, написанному известным учёным, член-корреспондентом АН СССР В. И. Сифоровым [5].

Целью статьи является обоснование использования и технического решения полосового фазовращателя, выполненного на RC-цепочках с минимальной погрешностью фазового сдвига $\Delta\varphi = 0,1^\circ$ в полосе частот 25 кГц.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Двукратная однополосная амплитудная модуляция с одной боковой полосой

Поскольку сигналы двух каналов передаются одновременно на двух боковых полосах одного амплитудно-модулированного колебания (АМ) без несущей, то их надо разделить при когерентном детектировании в радиоприёмнике.

Схема такого разделения [5] двух каналов представлена на рис. 1. Когерентный детектор обведён пунктирной линией [5].

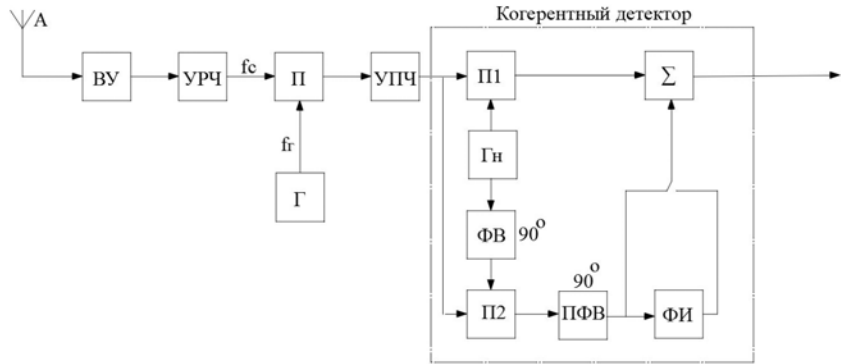


Рис. 1. Схема разделения каналов в когерентном детекторе [5].

На данном и последующих рисунках приняты следующие краткие обозначения: А – антенна, ВУ – входное устройство, П – перемножитель, Г – гетеродин, УРЧ – усилитель радиочастоты, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, f_c – частота информационного сигнала, f_r – частота гетеродина, $f_{пр}$ – промежуточная частота, f_z – частота зеркального канала, Гн – генератор несущей, ФВ – фазовращатель, ПФВ – полосовой фазовращатель, ФИ – фазоинвертор, Σ – сумматор, ФСС – фильтр сосредоточенной селекции, Д – динамик, ОА – ограничители амплитуды, ЧД – частотный детектор, УЗЧ – усилитель звуковой частоты.



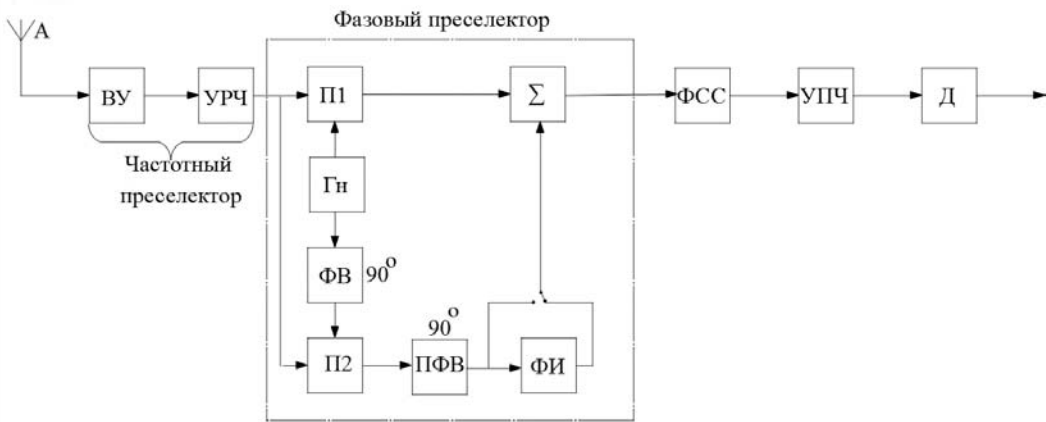


Рис. 2а. Структурная схема радиоприёмника с фазовым преселектором [выполнено авторами].

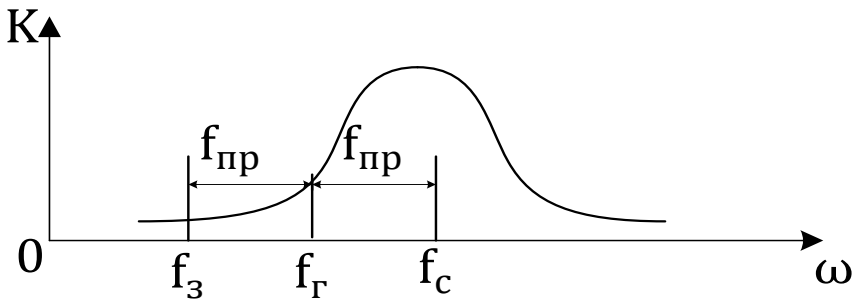


Рис. 2б. Работа частотного преселектора [выполнено авторами].

Работа схемы когерентного детектора происходит следующим образом. Входное напряжение с преобразователя частоты после усиления в УПЧ поступает на первые входы П1 и П2 когерентного детектора:

$$u_p(t) = U_m \sin(\omega - \Omega_1)t + U_m \sin(\omega + \Omega_2)t.$$

На второй вход П1 подаётся «несущая» частота с блока Гн $u_r(t) = U \sin \omega t$ [6] непосредственно, а на второй вход второго умножителя подаётся это же напряжение через фазовращатель [7].

На выходе блоков «П1» и «П2» получают-ся сигналы [8]:

$$\begin{aligned} u_{n1}(t) &= u_{np}(t) u_r(t) = \\ &= 0,5 U_z U_m \cos(\Omega_1 t) + 0,5 U_z U_m \cos(\Omega_2 t) + BЧ; \\ u_{n2}(t) &= u_{np}(t) \hat{u}_r(t) = 0,5 U_z U_m \cos(\Omega_1 t + 90^\circ) + \\ &+ 0,5 U_z U_m \cos(\Omega_2 t - 90^\circ) + BЧ = \\ &= -0,5 U_z U_m \sin(\Omega_1 t) + 0,5 U_z U_m \sin(\Omega_2 t) + BЧ. \end{aligned}$$

Таким образом, сигналы обоих каналов разделяются, для чего необходимы два сумматора Σ : на сумматор Σ_1 подаётся с входа ФИ, а на Σ_2 – с выхода ФИ.

2. Фазовый преселектор

Фазовый преселектор, как и частотный преселектор, подавляет зеркальный канал в радиоприёмнике. Зеркальный канал отстоит от частоты гетеродина в преобразователе частоты на промежуточную частоту $f_{пр}$, но по другую сторону от частоты основного сигнала, как две боковые полосы АМ колебания отстоят от его несущей частоты. Поэтому «зеркальный канал» при преобразовании частоты должен занять одну и ту же полосу частот [10–18], что и основной канал. От этого радиосвязь нарушается. Однако зеркальный канал можно подавить по схеме «квадратной ОБП АМ», поскольку в ней ко-

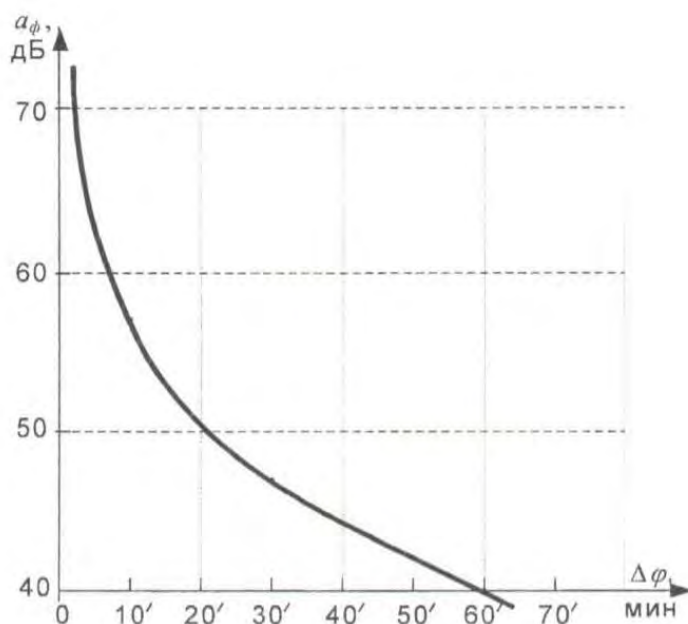


Рис. 3. Расчётные значения степени подавления зеркального канала [выполнено авторами].

герентный детектор состоит из перемножителя частот с фильтром низких частот на его выходе [19], а преобразователь частоты состоит тоже из перемножителя сигналов с полосовым фильтром промежуточной частоты. Для подавления зеркального канала в стандартном приёмнике следует подключить параллельно к основному преобразователю частоты второй такой же преобразователь ПР2 и все остальные блоки «квадратной ОБП АМ».

На рис. 2а представлена структурная схема радиоприёмника с фазовым преселектором, где сигнал с антенны А поступает на частотный преселектор. На рис. 2б представлена графически его работа [7]. Выход УРЧ подключён к первым входам перемножителей П1 и П2 обоих преобразователей частоты ПЧ. Ко второму входу П1 подключён гетеродин Г непосредственно, а ко второму входу П2 подключён этот же гетеродин Г, но через фазовращатель ФВ на 90° . Частота гетеродина ω_r может быть больше частоты основного сигнала ω_c , но меньше частоты зеркального канала: $\omega_z > \omega_r > \omega_c$, или наоборот.

Выход П1 подключён непосредственно к первому входу сумматора Σ , ко второму входу которого подключён выход П2 через последовательно включённые полосовой фазовращатель (ПФВ) на 90° и фазоинвертор ФИ,

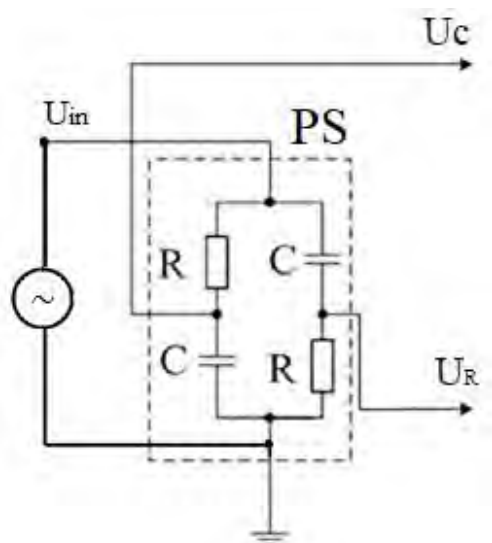


Рис. 4а. Схема ПФВ на 90° на RC-цепочках [выполнено авторами]: PS – полосовой фазовращатель, RC – RC-цепочки, U_{in} – входное напряжение, R – резистор, C – конденсатор, U_c и U_r – напряжения на выходах полосового фазовращателя.

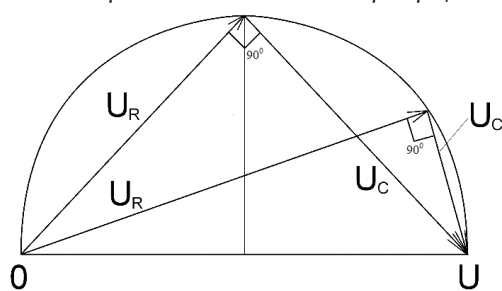


Рис. 4б. Векторная диаграмма ПФВ [выполнено авторами].

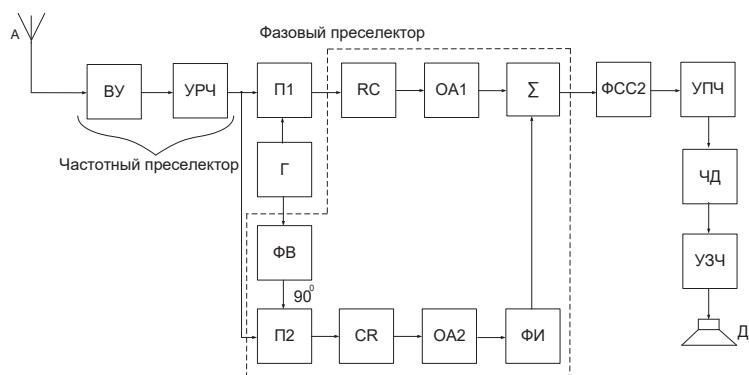


Рис. 5. Структурная схема приёмника с модернизированным ПФВ [выполнено авторами].

сдвигающий фазу входного сигнала на 180° . Выход сумматора подключён к динамике через последовательно включённые фильтр сосредоточенной селекции (ФСС) и усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Видно, что когерентный детектор «квадратной ОБП АМ» переключён в преобразователь частоты приёмника согласно рис. 2а.

Высокочастотные (ВЧ) составляющие отфильтровываются в ФСС, осуществляющим избирательность по соседнему каналу. Зеркальный канал подавлен в результате фазовой компенсации согласно формуле подавления ОБП в когерентном детекторе «квадратурный ОБП АМ» [20].

$$a_\phi = 20 \lg \left| \frac{1 + \alpha}{\sqrt{\alpha^2 - 2\alpha \cos \Delta\phi + 1}} \right|, \text{ дБ},$$

где α – отношение амплитуд обычных ОБП АМ, а $\Delta\phi$ – фазовая погрешность, точнее разница фаз ОБП АМ.

Если $a = \frac{a_2}{a_1} = 1$, то a_ϕ преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} a_\phi &= 20 \lg \left| \frac{2}{2(1 - \cos \Delta\phi)} \right| = \\ &= 20 \lg \left| \frac{2}{\sqrt{2^2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)}} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{\sin(0,5\Delta\phi)} \right|, \text{ дБ}. \end{aligned}$$

На рис. 3 показана зависимость, построенная по формуле, представленной выше, из которой следует, что при $\Delta\phi = 2'$ значение $a_\phi = 80$ дБ. Однако в [21, с. 48], сказано, что реальные ПФВ на 90° обеспечивают $\Delta\phi = (2 - 3)^\circ$, чему соответствует $a_\phi = 30$ дБ, что недостаточно.

Для увеличения a_ϕ , необходимо совершенствовать ПФВ на 90° .

3. Модернизация ПФВ на 90°

Целесообразное увеличение a_ϕ возможно при выполнении ПФВ на 90° на RC-цепочках [9], согласно рис. 4а. Их работа представлена графически на рис. 4б при изменении частот.

Эксперимент показал, что фазовый сдвиг между U_R и U_C на 90° сохраняется в полосе частот 25 кГц с погрешностью $\Delta\phi = 0,1^\circ$, поскольку сопротивление ёмкости $X_C = \frac{1}{j\omega C}$,

а умножение на знак j означает сдвиг фазы на 90° , согласно [10, с. 46]. Однако амплитуды сигналов U_R и U_C сильно разнятся между собой в полосе частот более 25 кГц, поэтому для их выравнивания необходимо использовать усилители-ограничители.

Структурная схема приёмника с RC-цепочками и усилителями-ограничителями [9] представлена на рис. 5.

Работа схемы на рис. 5 не требует пояснений, поскольку она подробно рассмотрена на рис. 2 и рис. 4.

ВЫВОДЫ

1. Предложено использовать при преобразовании частоты в приёмнике для подавления зеркального канала принцип когерентного детектирования сигналов двух каналов, представленных одновременно на двух боковых полосах одного амплитудно-модулированного (АМ) колебания без несущей частоты.

2. Разработан [24; 25] простейший и точный фазовращатель на двух RC-цепочках, включённых параллельно и в обратном порядке [9; 11] с усилителями-ограничителями амплитуды сигналов, обеспечивающими подавление зеркального канала значи-

тельно больше, чем известный частотный преселектор.

3. Разработанный фазовый преселектор обеспечивает не только высокую избирательность по зеркальному каналу, но и позволяет иметь одну низкую промежуточную частоту, при которой высока избирательность и по соседнему каналу.

4. Уточнена формула подавления зеркального канала $a_{\phi} = 20 \lg \left| \frac{1}{\sin(0,5\Delta\phi)} \right|$, [дБ].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kawamura, Takashi; Shimotahira, Hiroshi; Otani, Akihito. Novel Tunable Filter for Millimeter-Wave Spectrum Analyzer Over 100 GHz. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2014, Vol. 63, Iss. 5, pp. 1320–1327. ISSN 0018-9456. DOI: 10.1109/TIM.2014.2298258.

2. Kawamura, Takashi; Mattori, Shigenori. Proposal of over 100 GHz band waveguide switch. Wiley online library. Electrical Engineering in Japan, 2019. DOI: 10.1002/eej.23136. (Translated from IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials (Denki Gakkai Ronbunshi A), Vol. 138, No. 5, pp. 210–216. DOI: 10.1541/ieejfms.138.210).

3. Kawamura, Takashi; Mattori, Shigenori; Fuse, Masaki. Evaluation of 140 GHz band filter bank prototype. Asia-Pacific Microwave Conference, 2018, pp. 13–15. DOI: 10.23919/APMC.2018.8617411.

4. Kawamura, Takashi; Shimotahira, Hiroshi; Otani, Akihito. Novel Tunable Filter for Millimeter-Wave Spectrum Analyzer Over 100 GHz. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013, pp. 641–646. DOI: 10.1109/I2MTC.2013.6555494.

5. Момот Е. Г. Проблемы и техника синхронного радиоприёма. – М.: Госиздат, 1961. – 172 с. [Электронный ресурс]: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/MOMOT_Evgeniy_Grigorovich_Momot_E.G..html. Доступ 17.01.2022.

6. Патент РФ на изобретение № 2363091. Формирователь однополосного сигнала фазовым способом. А. А. Волков, И. А. Волкова. Приоритет от 29.02.2018 г. Оpubл. 27.07.2019 г. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37553560>. Доступ 17.01.2022.

7. Волков А. А., Морозов М. С. Способ повышения избирательности сигналов в радиосвязи // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 2. – С. 56–63. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/910>. Доступ 17.01.2022.

8. Волков А. А., Кузюков В. А., Морозов М. С. Варианты модела для цифровой системы радиосвязи // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 6. – С. 48–56. [Электронный ресурс]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1367?locale=en_US. Доступ 17.01.2022.

9. Волков А. А., Морозов М. С. Максимизация избирательности сигналов в радиоприёмнике // Электросвязь. – 2019. – № 11. – С. 48–50.

10. Зюко А. Г., Коробов Ю. Ф. Теория передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1972. – 360 с.

11. Верзунов М. В., Лобанов И. В., Семёнов А. М. Однополосная модуляция. – М.: Госиздат литературы по вопросам связи и радио, 1962. – 300 с.

12. Волков А. А. Радиопередающие устройства. – М.: Маршрут, 2002. – 352 с. ISBN 5-89035-079-X. [Электронный ресурс]: <https://ru.djvu.online/file/acizm8CNMOoDx>. Доступ 17.01.2022.

13. Горелов Г. В., Волков А. А., Шелухин В. И. Каналообразующие устройства железнодорожной телемеханики и связи. – М.: ГОИ, 2007. – 403 с. ISBN 978-5-89035-420-4. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/gorelov-g-v-volkov-a-a-sheluhin-s-v-kanalooobrazuyuschie-ustroystva-zheleznodorozhnoy-telemechaniki-i-svyazi_61330895804.html. Доступ 17.01.2022.

14. Rappaport, Th. S. Wireless Communications (Principles and Practice). New York, IEEE Press, 1996, 641 p. ISBN 0-13-042232-0.

15. Прокис Дж. Цифровая связь / Пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского – М.: Радио и связь, 2000. – 797 с.

16. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Изд. дом Вильямс, 2007. – 1099 с. ISBN 978-5-8459-0497-3. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/sklyar-b-cifrovaya-svyaz-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primenenie_5fb0497bb4c.html. Доступ 17.01.2022.

17. Верзунов М. В. Однополосная модуляция в радиосвязи. – М.: Воениздат, 1972 – 296 с. [Электронный ресурс]: <http://www.radiosovet.ru/book/radiotv/6254-odnopolosnaya-modulyaciya-v-radiosvyazi.html>. Доступ 17.01.2022.

18. Фомин А. Ф., Ваванов Ю. В. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи. – М.: Транспорт, 1987. – 295 с. [Электронный ресурс]: <http://biblus.ru/Default.aspx?book=4q2i27e1e6>. Доступ 17.01.2022.

19. Волков А. А., Кузюков В. А., Морозов М. С. Максимизация помехоустойчивости приёма цифровых сигналов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2020. – Вып. 4. – С. 146–150. DOI: 10.31114/2078-7707-2020-4-146-150.

20. Волков А. А., Кузюков В. А. Повышение качества клипированных речевых сигналов // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11. – № 5. – С. 38–43. [Электронный ресурс]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/446?locale=en_US. Доступ 17.01.2022.

21. Клягин Л. Е. Широкополосные фазовращатели. – М.: Связь, 1971. – 70 с.

22. Патент РФ на изобретение № 2745852. Формирователь цифрового сигнала однополосного колебания с ФМн на 180°. А. А. Волков, М. С. Морозов, В. А. Кузюков, И. А. Волкова. Приоритет от 23.10.2020 г. Оpubл. 02.04.2021 г. в БИ № 10. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_45809298_94753701.PDF. Доступ 17.01.2022.

23. Патент РФ на ПМ № 115986. Когерентный детектор сигналов с абсолютной фазовой манипуляцией на 180°. А. А. Волков. Оpubл. 10.05.2012 г. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38402932>. Доступ 17.01.2022.

24. Патент РФ на изобретение № 2259578. Фазокомпенсационный подавитель зеркального канала в приёмнике радиосигналов. А. А. Волков. Приоритет от 01.08.2014 г. Оpubл. 01.08.2014 г. [Электронный ресурс]: <https://patents.google.com/patent/RU2569578C1/ru>. Доступ 17.01.2022.

25. Патент РФ на ПМ № 150830. Формирователь цифрового сигнала однополосного колебания с ФМн на 180°. А. А. Волков, М. С. Морозов. Приоритет от 16.05.2014 г. Оpubл. 27.02.2015 г. в БИ № 6. [Электронный ресурс]: <https://patents.google.com/patent/RU125790U1/ru>. Доступ 17.01.2022. ●

Информация об авторах:

Волков Анатолий Алексеевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, aavolkov2009@rambler.ru.

Морозов Максим Сергеевич – инженер отдела автоматики, телемеханики и связи АО «Метрогипротранс», Москва, Россия, raconteurs.mm@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022, одобрена после рецензирования 18.02.2022, принята к публикации 28.02.2022.





Инновационный подход к созданию новых видов городского пассажирского транспорта



Наталья ТРОИЦКАЯ

Наталья Александровна Троицкая

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

✉ tronat@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время население всё больше концентрируется в крупных городах и мегаполисах, активно застраиваются городские окраины. По расчётам социологов в городах к 2025 году будет жить более 80 % населения. Для мегаполисов характерна социальная напряжённость, связанная с транспортной и экологической обстановкой, усугубляющаяся в связи с ростом численности населения, увеличением его плотности и возрастанием количества автомобилей на душу населения.

Система «город – транспорт» имеет обратную связь: когда город исчерпает возможности созданной транспортной системы по быстрому и удобному передвижению пассажиров, потребуется изменение характеристик средств городского транспорта вплоть до создания принципиально новых на современных источниках энергии.

Транспорт – отрасль обслуживающая и должен удовлетворять требования тех, кто им пользуется. Для городских пассажирских перевозок главным является качество обслуживания.

Во все времена людям было свойственно желание перемещаться, используя для этого разнообразных животных в зависимости от региона проживания. У людей обеспеченных имелись специальные возки, кареты и животные в собственности. Простой люд был пешим, но с ростом населённых пунктов и городов стал испытывать большие трудности для перемещения на значительные расстояния. Идея создания общественного транспорта, то есть доступного для пользования любого жителя за

умеренную плату была сформулирована известным физиком Б. Паскалем в 1661 году.

Серьёзного развития эта идея достигла позже в связи с интенсивным ростом городов и благодаря разработкам учёных в области точных наук.

В качестве метода исследования в этой обзорной статье использован анализ истории появления и развития каждого из видов транспорта в мировой и отечественной практике, что дало возможность проследить эволюцию городского транспорта вплоть до сегодняшних дней. Цель данной статьи – представить дальнейшую эволюцию транспортного обслуживания города, требующую инновационного подхода к созданию новых видов транспорта.

Исследования отражались в соответствующих статьях, а также в разделах «Городской транспорт» ряда учебников.

В статье рассматривается инновационный подход к модернизации имеющихся городских транспортных средств и созданию новых, обеспечивающих экологическую чистоту, безаварийность, уменьшение занятости территории города, создание комфортных условий перевозки пассажиров и др. Для этого предусмотрено широкое использование цифровых технологий, а также нетрадиционных транспортных систем.

Рассмотрено и проанализировано перспективное внедрение принципиально новых транспортных средств на примерах опыта городов и мегаполисов в России и за рубежом.

Ключевые слова: общественный городской транспорт, инновация, гибридный транспорт, экология, взаимозаменяемые виды энергии, занятость территории города, использование подземного пространства.

Для цитирования: Троицкая Н. А. Инновационный подход к созданию новых видов городского пассажирского транспорта // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 36–49. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-5>.

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

Проведённый анализ истории появления и развития каждого из видов транспорта в мировом масштабе позволил всю историю городского транспорта разделить на несколько периодов:

1) с конца XVII до последней четверти XVIII столетия в городах доминировало пешеходное сообщение, передвигаться можно было также верхом или в конных упряжках, это сообщение диктовало плотность и размеры застройки для приемлемых затрат времени и сил на перемещение. Услуга «пассажирский извоз по найму», которую условно можно рассматривать как начало общественного транспорта и современного такси, зародилась в Великобритании в 1639 г., когда была учреждена лицензия на извоз. Точную дату рождения российского частного извоза назвать сложно. Период извозчиков, каждый из которых имел свой жетон с номером, длился до 1898 года. Затем появились таксометры, а в 1904 году было организовано таксомоторное общество [1];

2) в последнюю четверть XVIII–середине XIX в. для городов небольших размеров появился возок с конной тягой (скорость до 10 км), начались опыты с паровыми транспортными средствами, появился прототип автомобиля – телега Н.-Ж. Кюньо в 1769 году (Франция); первый двухколёсный металлический велосипед сконструировал в 1801 году Е. Артамонов;

3) во второй половине XIX века при резком росте промышленного производства и росте городов для конной тяги проложили рельсы («конка»). В Лондоне в 1863 году открыли метрополитен на паровой тяге, в 1890 году её заменили электротягой; первая линия метрополитена в Нью-Йорке открыта в 1868 году как наземная, на металлических эстакадах, железнодорожная линия с канатной тягой, которая была заменена паровой в 1871 году и в 1890 году электрической;

4) конец XIX–первая четверть XX в. характеризуется развитием рельсового транспорта на электроэнергии: трамвай (1874 год, Россия, 1881 год, Германия); метрополитен распространился во многих городах мира (в России в 1935 году); первый монорельс построен в г. Вупперталь (Германия) в 1901 году; расширилась связь города с пригородной зоной с помощью железнодорожного транспорта. Появился индивидуальный автомо-

биль. Некоторое отставание в России от появления отдельных видов транспорта было связано с нежеланием владельцев железнодорожных дорог (городского общественного пассажирского транспорта в России) терять свои капитальные затраты и доходы;

5) с первой четверти XX века по настоящее время преобладают виды транспорта на электроэнергии с некоторыми недостатками и на двигателях внутреннего сгорания (экологически нечистое сообщение) во всех городах мира. В связи с чем идёт интенсивное развитие разнообразных видов городского транспорта с использованием различных типов энергии для устранения имеющихся на сегодня недостатков у каждого из видов городского транспорта.

Целью данной статьи является анализ результатов исследований по совершенствованию транспортных средств для городских условий. Новейшие транспортные средства позволяют улучшить технические характеристики, уменьшить загрязнение воздуха, повысить безопасность движения и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Перед транспортом будущего стоят новые задачи, требующие инновационного подхода. Для пассажирских городских перевозок важны, прежде всего, сокращение времени и комфортность поездки. Проектировщики для экономии времени пассажиров традиционно предлагают высокоскоростные поезда железных дорог, но это касается, прежде всего, междугороднего сообщения. Над технологиями в этой области работают практически все передовые страны. Скорости, которые используются сейчас в междугородном пассажирском сообщении, практически нельзя реализовать в городе, где есть определённые нормативные требования для расположения остановок пассажирского городского транспорта.

Среди альтернативных вариантов для городских перевозок пассажиров надо отметить, прежде всего, прошедшие период апробации и внедряемые принципиально новые виды городского транспорта или известные виды, перешедшие на возобновляемые виды энергии.

Самым «умным» городом в мире на сегодня считается Сингапур с 5,8 млн населения, благодаря применению имеющихся новаций на транспорте. За относительно небольшой





Рис. 1. Model X – полноразмерный, полноприводный электроавтомобиль. [Электронный ресурс]: https://tesla-online.ru/model_x. Доступ 12.01.2022.

срок там смогли внедрить все современные достижения, касающиеся транспорта, полностью ликвидировав пробки на улицах благодаря установке специальной техники слежения и распределения потоков, снабжению населения мобильными устройствами, применению беспилотных автобусов и прочих технических средств.

В Сингапуре прошли успешно в 2019 году испытания беспилотного гибридного электрического автобуса на 80 пассажиров длиной 12 м. Запас хода – 25 км, полная зарядка электроустановки происходит за шесть минут во время стоянки или на автобусных остановках. Автобус оснащён системой GPS и снабжён датчиками, позволяющими получать и обрабатывать информацию об удалённых объектах, и специальными камерами, транслирующими трёхмерное изображение окрестностей с учётом местного трафика и климата. Запущено беспилотное такси на территории сингапурского делового центра, впоследствии систему распространили на весь город¹.

В Калифорнии (США) разрабатывается инфраструктура «умного города» с «умными дорогами», бесплатным Wi-Fi, светодиодными уличными фонарями, датчиками загрязнения воздуха и солнечными батареями, здесь же будут использоваться и беспилотные автобусы. Появится первая «зелёная» железная дорога, т.е. дорога, позволяющая снизить уровень воздействия на окружающую среду благодаря получению энергии от возобновляемых источников.

¹ The future of sustainable mobility in Singapore. [Электронный ресурс]: <https://www.webuildvalue.com/en/megatrends/singapore-smart-city.html>. Доступ 12.01.2022.

Калифорния перейдёт на «зелёные» автобусы к 2040 году².

Значительное число городов в мире уделяют приоритетное внимание развитию инфраструктуры для велосипедного движения как экологичного вида городского транспорта. Существует множество рейтингов, оценивающих, в том числе, и удобство городской инфраструктуры для велосипедистов. Например, в число лучших в одном из таких рейтингов в 2019 году входили Копенгаген, Амстердам, Утрехт, Антверпен, Страсбург, Бордо, Осло, Париж, Вена, Хельсинки, Бремен, Богота, Барселона, Любляна, Берлин, Токио, Тайпей, Ванкувер, Монреаль, Гамбург³.

Надо заметить, что велосипед как вид городского транспорта очень распространён в азиатских (Китай, Вьетнам и др.) и во многих европейских странах (Нидерланды, Германия и др.). Примером в настоящее время может служить и Москва, на улицах которой созданы велодорожки (без допуска на них пешеходов) и предусмотрены специальные стоянки для проката велосипедов. В последние годы всё большее число городов мира (Дубай, Нью-Йорк, Париж и др.) начали предлагать систему обмена механических велосипедов на электрические.

Ведётся разработка и поэтапное внедрение в городах электромобилей. В 2012 году в Лос-Анджелесе представили прототип

² Калифорния перейдёт на «зелёные» автобусы к 2040 году. [Электронный ресурс]: <https://nplus1.ru/news/2018/12/17/zero-emission-california>. Доступ 12.01.2022.

³ The 2019 Copenhagenize Index of bicycle-friendly cities [Электронный ресурс]: <https://copenhagenizeindex.eu/about/the-index>. Доступ 12.01.2022.

Model X – полноразмерный, полноприводный люксовый SUV-электромобиль с автоматически складывающимися задними дверями Falcon Wing («крыло сокола»), открывающими доступ ко второму и третьему ряду сидений (рис. 1)⁴.

Появились автомобили на электрической энергии, способные пройти 975,6 км на одной зарядке⁵.

Такое стало возможным благодаря изменению привычной формы автомобиля на аэродинамическую, использованию мощных аккумуляторов и солнечных панелей для дополнительной подзарядки.

Уже существуют электрические велосипеды, которые на одной зарядке могут проехать 350–400 км⁶.

Электрический самокат Сегвей (появился в 2002 году) – это средство передвижения индивидуальной мобильности (СИМ) с необычной системой балансировки для удержания человека в равновесии (рис. 2)⁷.

СИМ – средства для передвижения человека посредством использования электродвигателя или мускульной энергии (роликовые коньки, самокаты, моноколёса и др., кроме велосипедов и инвалидных колясок).

Появление транспорта на электроэнергии обозначило новую проблему – строительство зарядных станций. География расположения «электрозаправок» фирмы Supercharger в США позволяет владельцам таких автомобилей пересечь всю территорию США в любом направлении⁸.

В Европе к концу 2020 года было построено около 287 тыс. доступных пользователям зарядных станций⁹, время зарядки аккумуля-



Рис. 2. Электрический самокат Сегвей (<https://www.segway.com>).

торов на них примерно шесть минут. По некоторым оценкам, в 2021 году их число могло превысить 350 тыс., а потребность в них к 2050 году может оцениваться более чем в 3 млн.

В России идёт интенсивная апробация электрических городских автобусов. Установлено, что замена одного дизельного автобуса на электробус снижает выбросы CO₂ на 60,5 т в год. В Москве в августе 2021 года ежедневно на линию выходили более 700 экологически чистых электробусов¹⁰.

Согласно договору с заводом, КамАЗ будет не только выпускать часть этих новых транспортных средств, но и в течение 15 лет полностью их обслуживать¹¹.

Проблема ДТП актуальна во всём мире: по данным ВОЗ каждые 24 секунды в ДТП в мире погибает один чел., в год – 1,25 млн [2]. Эта проблема привела к необходимости создания городских транспортных средств-беспилотников, т.е. без участия водителей, с полностью автоматическим управлением. Россия присоединилась к единой концепции ООН «Дороги для жизни» для привлечения внимания к уязвимому положению пешеходов на дороге [2].

¹⁰ Сергей Собянин рассказал о развитии электротранспорта в Москве. [Электронный ресурс]: <https://www.mos.ru/mayor/themes/2299/7574050/>. Доступ 12.01.2022.

¹¹ В скором времени каждый пятый московский автобус будет сходить с камазовских конвейеров. [Электронный ресурс]: <https://realnoevremya.ru/articles/163962-kamaz-perecast-mosgortransu-elektrobusy-na-40-milliardov>. Доступ 12.01.2022.

⁴ Новая Tesla Model X – самый быстрый в мире электрический кроссовер. [Электронный ресурс]: https://tesla-online.ru/model_x. Доступ 12.01.2022.

⁵ 1000 км на одной зарядке? Tesla уже готовит такие электромобили. [Электронный ресурс]: <https://www.ixbt.com/news/2020/11/25/1000-km-na-odnoj-zarjadke-tesla-uzhe-gotovit-takie-elektromobili.html>. Доступ 12.01.2022.

⁶ Сколько может проехать электровелосипед на одной зарядке? [Электронный ресурс]: <https://veloprosto.com/how-long-can-e-bike-go-on-one-...> Доступ 12.01.2022.

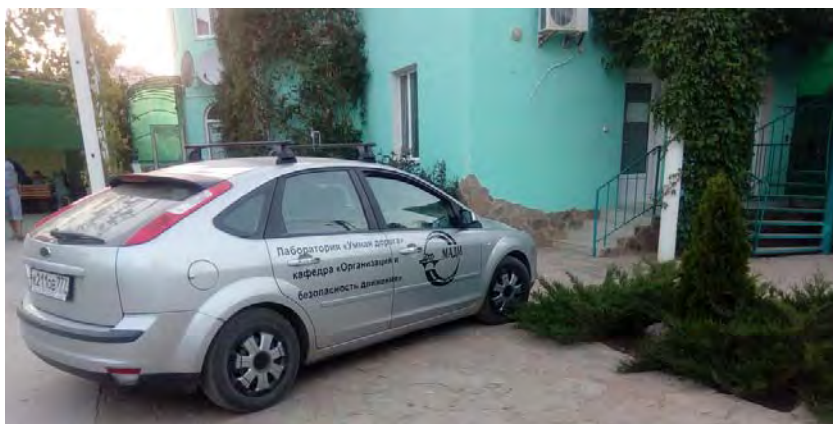
⁷ Сайт компании Segway. [Электронный ресурс]: <http://ru.segway.com/about-us.html>. Доступ 12.01.2022.

⁸ Сеть заправочных станций Tesla Supercharger. [Электронный ресурс]: <https://tesla-automobile.ru/karta-tesla-supercharger/>. Доступ 12.01.2022.

⁹ Werwitzke, C. EAFO study: charging infrastructure in the EU. [Электронный ресурс]: <https://www.electrive.com/2021/03/05/eafo-study-charging-infrastructure-in-the-eu/>. Доступ 12.01.2022.



а)



б)



Рис. 3. Автомобиль-беспилотник МАДИ (а) и эстонский автобус-беспилотник шаттл, работающий в ограниченных городских зонах (б) [5].

В городе Иннополис Республики Татарстан с 2018 г. проводится эксперимент по внедрению беспилотного автомобиля-такси. Такой автомобиль оценивает дорожную обстановку в зоне 360 градусов и на расстоянии в 100–200 м с помощью наборов сенсоров – шести радаров и камер – 50 раз в секунду¹².

Компания «Яндекс» в 2019 году запустила сервис беспилотного такси на территории подмосковного инновационного центра «Сколково»¹³.

Во многих странах проходят испытания или внедряются беспилотные технологии движения метропоездов. Так, в Пекине начались испытания первой полностью автоматизированной линии метро «Яньшань–Фаншань». В новых пекинских поездах нет кабин

машинистов, а эксплуатацией и техобслуживанием линии занимается «умная» система¹⁴.

Проект канадского подразделения Bell Helicopter получил официальную поддержку государственных властей на разработку беспилотных версий вертолётов и городского аэротакси. Города США становятся «полигонами» для внедрения беспилотных летающих такси¹⁵. Подобные проекты разрабатываются и в ряде европейских стран.

В российском законодательстве прежде всего следует закрепить применение беспилотных транспортных средств с высокой степенью автоматизации при движении автомобилей по дорогам общего пользования на

¹² Беспилотные такси появятся в Москве, Сочи и Татарстане. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2021...reg...taksi-roiaviatsia-v...tatarstane.html>. Доступ 12.01.2022.

¹³ Беспилотник на дорогах Сколково. [Электронный ресурс]: <https://taxi.yandex.ru/blog/bespilotnik-v-skolkovo/>. Доступ 12.01.2022.

¹⁴ В Пекине запущена полностью автоматизированная линия метро без водителя. Об этом сообщает «Рамблер». [Электронный ресурс]: https://news.rambler.ru/moscow_city/43385177/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink. Доступ 12.01.2022.

¹⁵ В США построят вокзал для авиатакси. [Электронный ресурс]: <https://www.gazeta.ru/tech/2020/11/12/13358161/aerotaxi.shtml>. Доступ 12.01.2022.



Рис. 4. Автобус, движущийся в общем потоке над легковыми автомобилями. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/gallery/3054311#id1307215>. Доступ 12.01.2022.

основе паспорта национального проекта «Безопасные качественные дороги». Предполагается, что движение беспилотных автомобилей будет обеспечено на 55 участках дорог страны к концу 2024 года (рис. 3).

В городе будущего «THE LINE» проекта Неом в Саудовской Аравии запроектировано шоссе для беспилотных автомобилей. Город должен быть построен к 2025 году [3].

Расширились эксперименты по применению водорода на транспортных средствах. В Великобритании в 2005 г. создан бесшумный мотоцикл на водородном топливе, получивший название «Транспортное средство с нейтральным выхлопом»¹⁶.

В г. Тарту (Эстония) работает городской беспилотный автобус на водородном топливе [5].

Автозавод «КамАЗ» ведёт разработки автобусов, а завод «ГАЗ» – грузовиков на водородном топливе. Отечественный электроавтомобиль 5G «Кама-1» на водороде – обладатель премии «Технологический прорыв» 2020 года¹⁷.

Для реализации идеи обгона на дороге легковых автомобилей, движущихся с разной скоростью, для возможности объехать пробку Китай разрабатывает автобус Airbus, движущийся над автомобилями (рис. 4).

Он будет передвигаться по городу со скоростью до 60 км/ч, перевозить до 1400 человек, что может заменить 40 обычных автобусов, сэкономить 800 тонн топлива и сократить выбросы углекислого газа на 2480 тонн в год¹⁸.

Видео и фотографии этого необычного автобуса были опубликованы ведущими мировыми СМИ. Построен единственный экземпляр, прошедший эксперимент удачно, однако пока нет информации о дальнейшем развитии проекта.

Японские проектировщики для решения подобной проблемы в конструкции автомобиля предлагают сделать изменяющуюся высоту переднего и заднего мостов, поднимающихся выше идущего впереди автомобиля.

Дальнейшее увеличение количества дорог в городах и многоярусных пересечений на них приводит к уменьшению территории использования земель для других нужд города. Эта проблема настоятельно потребовала появления новых видов транспортных технологий с ограниченной опорой на землю или применимых в тоннелях.

Первый метрополитен, как сказано ранее, был пущен в Лондоне (Англия) в 1863 году. Затем метрополитен стал главным видом транспорта в мегаполисах. Сегодня на его основе строят городские транспортные системы типа московского центрального кольца (МЦК) для связи, прежде всего, со станциями

¹⁶ Одноместный трек-кар ВАС Моно получит версию на водороде. Экспериментальный автомобиль по эмоциям не уступит обычному Моно с бензиновым ДВС. [Электронный ресурс]: <https://motor.ru/news/odnomestnyi-trek-kar-bac-mono...na...270...> Доступ 12.01.2022.

¹⁷ Первый водородный электробус от «КамАЗа». [Электронный ресурс]: https://kamaz.ru/press/releases/pervyy_vodorobus...kamaza/ (<https://motor.ru/news/kamaz-hydrogen-bus-07-09-2021.htm>). Доступ 12.01.2022.

¹⁸ В Китае запустили автобус-тоннель, который едет по дороге над автомобилями и не боится пробок. [Электронный ресурс]: <https://novate.ru/blogs/290716/37401/>. Доступ 24.01.2022.



а)



б)



Рис. 5а и 5б. Монорельс в г. Вупперталь (Германия). [Электронный ресурс]: <https://schwebebahn.de/en/mediathek>. Доступ 12.01.2022.



Рис. 6. Монорельс в г. Чунцин (Китай). [Электронный ресурс]: <https://novate.ru/blogs/210317/40563/>. Доступ 12.01.2022.

- Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 36–49

Троицкая Н. А. Инновационный подход к созданию новых видов городского пассажирского транспорта



Рис. 7. Система Transrapid: аэропорт Пудун – станция метро Лунъян в г. Шанхай (Китай). [Электронный ресурс]: https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/21786 со ссылкой на источник фото: media.thyssenkrupp.com. Доступ 12.01.2022.

метрополитена, аэропортами и вокзалами, т.е. создают единую транспортную городскую систему.

Транспортные системы с опорой, встроенной в землю, – это монорельсовый внеуличный транспорт. В Германии (г. Вупперталь) построили первую городскую монорельсовую дорогу в 1901 году, которая эксплуатируется до сих пор с высокой степенью безопасности движения – одно ДТП за всё время эксплуатации. Максимальная скорость 60 км/ч, расстояния между станциями 780 м (Рис. 5а и 5б).

В г. Ньюарк под Нью-Йорком (США) монорельс длиной 4,8 км связывает аэропорт, автобусную и железнодорожную станции и парковки.

В Москве в 2004 году была построена на эстакаде монорельсовая транспортная система длиной 4,7 км с шестью станциями. Однако выбор района для размещения этой системы показал её экономическую неэффективность из-за недостаточного пассажиропотока, что привело к частичной замене на трамвайное движение¹⁹.

До 1950 года монорельс не имел широкого распространения, но в последние годы в странах Азии стали широко его применять из-за отсутствия лишней территории в старых застроенных городах. Так в г. Чунцин (Китай) с 2005 года работает монорельс длиной 13,5 км, линия которого проходит через жилой дом (рис. 6)²⁰.

¹⁹ Трамвайные пути частично заменяют Московский монорельс. [Электронный ресурс]: <https://stroimsk.ru/news/tramvaynye-puti-chastichno-zameniat-moskovskii-monorel-s/?from=cl>. Доступ 21.01.2022.

²⁰ В китайском мегаполисе железную дорогу проложили прямо сквозь жилой дом. [Электронный ресурс]: <https://novate.ru/blogs/210317/40563>. Доступ 21.01.2022.

В Японии общая протяжённость монорельсовых дорог в восьми городах составляет 102 км. В г. Осака самая протяжённая дорога – 23,8 км. В 2003 г. в Куала-Лумпуре (Малайзия) открыли монорельс длиной 8,6 км, в г. Джакарта (Индонезия) длина монорельса составляет 27 км.

Основной недостаток монорельса – это его шумность. В 1979 году на международной выставке в г. Гамбург (Германия) был продемонстрирован монорельс, работающий по принципу электромагнитного подвешивания с линейным электрическим приводом, который работал практически бесшумно²¹.

В сверхскоростной системе Transrapid на магнитной подвеске транспортные средства парят над рельсовой направляющей без трения, используя притягивающую магнитную силу. За 14 часов работы система перевозила 7500 человек, железная дорога при максимальной вместимости поезда – 440 чел.²²

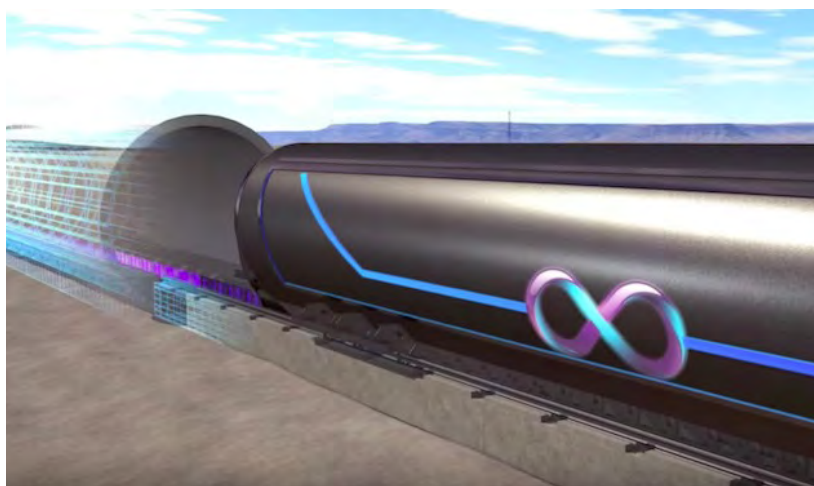
В этом соревновании Transrapid в первую очередь конкурировал с InterCityExpress (ICE), т.е. высокоскоростной железнодорожной системой. Проблема заключалась в том, что в Германии и ряде других европейских стран к тому времени имелась развитая единая сеть высокоскоростных железных дорог.

Transrapid используется на сегодняшний день в Китае. В настоящее время

²¹ Transrapid design history. [Электронный ресурс]: <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>. Доступ 21.01.2022.

²² «Transrapid 05», первый «летающий» над рельсами. [Электронный ресурс]: <https://zen.yandex.ru/media/incrediblmech/transrapid-05-pervyi-letiascii-nad-relsami-5c1272477c9de200aac7a62a>. Доступ 21.01.2022.





а) труба и пассажирская капсула (разрез). [Электронный ресурс]: <https://hi-news.ru/technology/kak-rabotaet-hyperloop.html>. Доступ 12.01.2022.



б) прозрачная труба для города. [Электронный ресурс]: <https://telecomdaily.ru/news/2019/08/19/vse-cto-nuzhno-znat-o-hyperloop>. Доступ 12.01.2022.

Рис. 8. Пассажирская капсула в трубе.

самой быстрой электромагнитной дорогой в мире является трасса между аэропортом Пудун и станцией метро Лунъян в Шанхае (КНР). Длина линии составляет около 30 километров, которую поезд проезжает за 7,5 минут на скорости около 430 км/ч. (рис. 7)²³.

Исследованиями установлено, что система на магнитном подвесе позволяет достичь скорости городского общественного транспорта, в 2,5–4 раза превышающей скорость трамвая или троллейбуса и в 2–2,5 раза ско-

рость метро. При этом потребляемая энергия на один км пути наземного электротранспорта на 20–25 % ниже, а в случае метро – меньше в три раза.

Разработкой подобных систем занимаются компании ряда стран, в частности швейцарская фирма SwissRapide AG и др.

Следует напомнить и предшествующий, хотя в целом неудачный, опыт создания монорельсовых систем с использованием принципов воздушной подушки. Такой опыт был предпринят французскими специалистами в рамках проекта «AéroTrain». В качестве рельса они решили применить железобетонную балку в виде опрокинутой буквы «Т», уста-

²³ Transrapid Maglev Shanghai. [Электронный ресурс]: <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>. Доступ 21.01.2022.



Рис. 9. Первыми пассажирами Hyperloop Virgin стали технический директор компании Джош Гигель и руководитель отдела обслуживания пассажиров Сара Лучиан. [Электронный ресурс]: <https://www.virgin.com/about-virgin/latest/passengers-travel-safely-on-a-hyperloop-for-the-first-time>. Доступ 12.01.2022.

новленную на опоры. Под днище вагона, опирающегося на балку, нагнетается воздух, что создаёт своеобразную «воздушную смазку», обеспечивающую лёгкое перемещение вагона. Вагоны оборудовались различными видами тяги (газотурбинными, авиационными реактивными, линейными электродвигателями). Была достигнута максимальная скорость в 430,4 км/ч [7]²⁴.

В Японии с 1972 года разрабатывается технология HSST на основе линейного двигателя, с 2005 года действует единственная в стране коммерческая линия Маглев «Линимо», связывающая станцию метро Фудзигаока со станцией Якуса кольцевой железнодорожной линии Айти, протяжённостью 8,9 км²⁵.

Строительство и расширение систем метрополитена и высокоскоростных городских железных дорог требует значительных материальных затрат, поэтому в настоящее время возобновился интерес к предложениям новых экологически чистых транспортных систем.

К новым видам транспорта относятся вакуумные поезда Hyperloop, разработанные в США Илоном Маском (рис. 8).

Идея поезда, движущегося в трубе с разреженным воздухом, не нова и возникла в начале XX века. Это технологии подъёма капсулы с помощью магнитного поля, т. е. магнитной левитации или магнитной подвески (maglev).

В 2013 году в США представили систему «Hyperloop» как транспорт будущего. Капсулы-беспилотники (прототип вагона) помещают в транспортный тоннель с выкаченным оттуда воздухом и стремятся разогнать их до максимально возможной скорости. Новое транспортное средство, как заявлялось, в том числе и в СМИ, будет в два раза быстрее и в десять раз безопаснее самолётов, экономичнее в эксплуатации, чем аналоги²⁶.

Проект вакуумной транспортной сети «Hyperloop» основан на том же принципе, что и пневматическая почта. По трубам из специального материала, способного выдержать низкое давление и свести к минимуму турбулентность при увеличении скорости, капсула с пассажирами с большим ускорением «выталкивается» в трубу, где продолжает движение за счёт потоков воздуха и специальных магнитов, направляющих капсулу.

²⁴ См., напр.: Transport that never was. [Электронный ресурс]: <https://fabricofparis.com/2020/02/18/transport-that-never-was-aerotrains.html>; Vereycken, K. Aérotrain, high speed rail and nuclear technology: the lessons of Jean Bertin. [Электронный ресурс]: https://solidariteetprogres.fr/IMG/pdf/karelvreycken.fr-aerotrains_high_speed_rail_and_nuclear_technology_the_lessons_of_jean_bertin.pdf. Дата доступа 21.01.2022.

²⁵ Сайты Chubu HSST Development Corporation and Linimo. [Electronic resources]: http://hsst.jp/linimo_e.htm; <https://www.linimo.jp/language/en/>. Доступ 21.01.2022.

²⁶ См., напр.: Hyperloop Alpha [Электронный ресурс]: https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf; Hyperloop versus airplanes: What's safer? [Электронный ресурс]: <https://www.cnn.com/2017/05/02/hyperloop-versus-airplanes-whats-safer.html>; Hyperloop: Faster than a plane, cheaper than a train and completely green! [Электронный ресурс]: <https://www.indiatoday.in/world/story/hyperloop-elon-musk-tesla-motors-pay-pal-founder-new-transport-system-173603-2013-08-11>. Доступ 21.01.2022.





Рис. 10. Система skyTran.

Создателями предложено не стремиться к высокому вакууму в трубе, а ограничиться так называемым форвакуумом, который можно создать с помощью сравнительно недорогих насосов, а оставшийся в трубе воздух использовать для создания воздушной подушки под движущейся капсулой.

Капсула приводится в движение линейным электродвигателем, статором служит рельс длиной 15 м на полу трубы. Ротор находится в каждой капсуле. Так как статор выполняет не только ускорение, но и торможение, в последнем случае кинетическая энергия преобразуется в электрическую, что даёт общую экономию электроэнергии.

В 2020 г. компания Virgin Hyperloop впервые провела испытания своего поезда с пассажирами на полигоне DevLoop около Лас-Вегаса со скоростью до 160 км/ч. 500-метровое расстояние было преодолено за 15 сек (Рис. 9). Максимальная скорость, которую по расчётам создателей будет развивать Hyperloop в будущем, – 1223 км/ч.

Этот вид транспорта предложен ряду стран. В числе возможных маршрутов рассматривается трасса Тель-Авив–Эйлат (расстояние 350 км). Проект может быть реализован к 2025 г. По расчётам строительство этой трассы будет в три раза дешевле строительства обычной скоростной железнодорожной магистрали. На линии Hyperloop One планируют несколько промежуточных станций. Время в пути сократится с 4–6 часов до 20 минут²⁷.

Внедряется ещё одна принципиально новая система – skyTran – общественного

пассажирского транспорта на магнитной подушке, разработанная, в том числе, для борьбы с городскими пробками. Система работает на электричестве, экологически чистая, дешёвая, бесшумная, быстрая и комфортабельная. В дальнейшем возможно применение солнечной энергии. Новая система разработана американской skyTran, являющейся в настоящее время компанией-партнёром НАСА (NASA Space Act company) (рис. 10)²⁸.

Эта система представляет собой концепцию в рамках общего подхода к Personal Rapid Transit, впервые предложенную аэрокосмическим инженером Д. Малевички в 1990 г. Капсулы skyTran перемещаются на высоте шести метров над уровнем земли и могут разгоняться до 240 км/ч.

По заявлениям компании, она заключила контракт с Israel Aerospace Industries на строительство испытательного трека с надземной петлей длиной 400–500 метров. Планируется строить коммерческую сеть skyTran в ряде городов Израиля, а также надземную железнодорожную систему для обслуживания аэропорта Рамон²⁹.

Правительство Дубая представило футуристическую транспортную систему SkyPod, которая позволит снизить расходы на энергообеспечение и потребует меньших затрат на инфраструктуру. В 2019 года skyTran и Управ-

²⁸ Сайты НАСА и skyTran. [Электронный ресурс]: <https://www.nasa.gov/centers/ames/researchpark/partners/industry/skytran>; <https://skytran.com/>. Доступ 21.01.2022.

²⁹ В Израиле запустят индивидуальный маглев-транспорт SkyTran. [Электронный ресурс]: <http://gsmavto.com/v-izraile-zapustyat-individualnyj-maglev-transport-skytran/>. Доступ 21.01.2022.

²⁷ Из Тель-Авива в Эйлат за 20 минут скоро это станет реальностью. [Электронный ресурс]: <https://isralove.org/load/16-1-0-1525>. Доступ 21.01.2022.



Рис. 11. Пассажирский вагон системы А. Э. Юницкого SkyWay [Средство транспортное Юникар U4-431. Руководство по эксплуатации. – Минск: ЗАО «Струнные технологии», 2018. – С. 220].

ление дорог и транспорта г. Дубая (ОАЭ) начали разработку системы транзита SkyPod³⁰.

Также подписан меморандум о взаимопонимании с компанией Mirel (ОАЭ) для изучения и реализации проекта систем личного скоростного транспорта на острове Яс³¹.

В целом, желание иметь личное комфортное пространство при поездках приводит к поиску новых вариантов транспорта общего пользования, которые предоставляют услуги конкретному человеку. В мире продолжают поиски личного скоростного транспорта – Personal Rapid Transit (PRT), представляющего собой вид общественного транспорта, в котором используются небольшие автоматизированные транспортные средства, работающие на сети специально построенных путей. PRT – это тип автоматизированного проезда по направляющим. Транспортные средства PRT рассчитаны на индивидуальные поездки или поездки в небольших группах не более трёх–шести пассажиров. Направляющие расположены в сетевой городской топографии, при этом все станции расположены на разъездах и с частыми точками слияния/расхождения. Это позволяет совершать беспосадочные поездки от пункта к пункту, минуя промежуточные станции. Услугу «точка–точка» сравнивают с такси.

Было предложено множество систем PRT, но большинство из них пока не реализовано. В числе примеров успешных проектов PRT – функционирующие сегодня системы в университете Западной Виргинии в Моргантауне (США, с 1975 года), в Институте Масдара Университета Халифа в Масдар-Сити (Абу-Даби, ОАЭ, с 2010 года), в лондонском аэропорту Хитроу (Ultra Global PRT, с 2011 года)³².

В Беларуси предложена конструкция высокоскоростной струнной транспортной системы на опорах для городского пассажирского, грузового и междугороднего транспорта, продвигаемая А. Э. Юницким [8–10]. Это струнная транспортная система SkyWay.

В струнном транспорте SkyWay беспилотные навесные или подвесные высокоскоростные электромобили-модули различной пассажировместимости со стальными колёсами диаметром 50–70 см должны перемещаться по неразрезной предварительно напряжённой растяжением рельсо-струнной эстакаде (рис. 11).

Система планируется состоящей из опор и двух токонесущих рельсов-струн, изолированных друг от друга, по которым движутся вагоны. Анкерные опоры проектируются с интервалом 500–2000 м, а промежуточные с интервалом от 20 до 100 м. Опоры устанавли-

³⁰ Dubai's RTA and SkyTran sign MoU to introduce driverless sky pods. [Электронный ресурс]: <https://www.roadtraffic-technology.com/news/sky-pods-dubais-rt-skytran/>. Доступ 21.01.2022.

³¹ Yas Island to use skyTran transportation technology. [Электронный ресурс]: <https://businesschief.eu/technology/yas-island-use-skytran-transportation-technology>. Доступ 21.01.2022.

³² Сайт West Virginia University PRT. [Электронный ресурс]: <https://prt.wvu.edu/home>; сайт Masdar. Mubadala Investment Company. Mobility. [Электронный ресурс]: <https://masdar.ae/Masdar-City/the-city/Mobility>; сайт Ultra Global PRT website. [Электронный ресурс]: <https://www.ultraglobalprt.com/wheres-it-used/heathrow-t5/>. Доступ 21.01.2022.



ливаются на любом рельефе местности, а их высота определяется рельефом местности и высотой объектов, над которыми проходит трасса кольцевой формы.

Бесстыковая рельсо-струна, по замыслу авторов, представляет собой жёсткую нить, образованную пустотелым рельсом, внутри которого размещены стальные канаты, натянутые с усилием в 2500 кН. Провесы рельсовой нити в пролётах до 100 м длиной составляют не более 10 см. Скорость движения до 300 км/ч и выше при автоматической регулировке движения. Пассажиры станции для входа-выхода пассажиров располагают по кольцу [9; 10].

Перемещение транспортных артерий под землю в настоящее время связано с проблемой занятости городской земли инженерными сооружениями и повышенным уровнем автомобилизации. Транспортные системы могут занимать в городах до 30 % территории, а центральных частей города до 70 %.

Перевод движения в тоннели даёт неплохие результаты. Вехой в истории остаётся проект BigDig («Большая траншея») в Бостоне (США), представляющий собой сеть инженерных сооружений, включая протяжённые автотранспортные тоннели [5; 11]. Проект заключался в замене эстакады тоннелем. После окончания строительства надземная трасса была снесена, на её месте создали более 45 парков и городских площадей. Благодаря данному проекту была улучшена экологическая обстановка: общегородской уровень угарного газа снизился на 12 %.

Эта идея в настоящее время заинтересовала и Илона Маска, который пропагандирует инновационные виды городского транспорта, размещаемые в будущем в подземных многорульных тоннелях.

Проект для городских перевозок И. Маска развивает скоростные технологии для передвижения под землёй автомобилей со скоростью примерно 200 км/ч. Автомобили устанавливают на специальные платформы и спускают под землю (на электротяге). Сеть подобных тоннелей, по мнению авторов проекта, может избавить город от пробок.

Проект линейного города без использования жителями автомобилей на поверхности, в котором «всю инфраструктуру спрячут под землёй, где сделают транспортный уровень,

на котором будет курсировать высокоскоростной транспорт, управляемый искусственным интеллектом (ИИ)», разрабатывают в Саудовской Аравии^{33, 34, 35}.

Обсуждалось строительство высокоскоростной подземной дороги из международного аэропорта О'Хара (79,81 млн пассажиров в год) до г. Чикаго (США) длиной 27 км, где будут использоваться беспилотные одиночные вагоны на 16 человек, движущиеся со скоростью 160 км/ч и отправляющиеся каждые полминуты. Время проезда по маршруту 12 минут³⁶.

Компания «ABB Daimler Benz Transportation» по инициативе московского правительства разработала проект строительства высокоскоростной пассажирской транспортной системы «Трансрапид» для сообщений между терминалами аэропорта Шереметьево и бизнес-центром «Москва-Сити»³⁷.

Оригинальные идеи заключает в себе другой проект – гиропоезда Dahir Insaat, передвигающегося над городским транспортным потоком с помощью гироскопа³⁸.

Гирокары Dahir Insaat планируется оснастить гироскопами, которые поддерживают баланс благодаря маховику и скользят по рельсу, находясь над обычными автомобилями и пешеходами на высоте нескольких метров. Такой рельс должен размещаться на разделительной полосе между рядами машин.

³³ В Саудовской Аравии появится линейный город без машин. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2021/01/14/v-saudovskoj-aravii-poiavitsia-lineinyj-gorod-bez-mashin.html>. Доступ 03.02.2022.

³⁴ Саудовская Аравия делает ставку на город будущего. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/4652223>. Доступ 03.02.2022.

³⁵ В Саудовской Аравии построят город-миллионник без машин. На постройку «города будущего» потратят до 200 миллиардов долларов. [Электронный ресурс]: <https://motor.ru/news/saudi-arabia-the-line-11-01-2021.html>. Доступ 03.02.2022.

³⁶ До аэропорта Чикаго построят высокоскоростную подземную железную дорогу. [Электронный ресурс]: <https://tourism.interfax.ru/ru/news/articles/49931>. Доступ 21.01.2022.

³⁷ Постановление от 2 июня 1998 г. № 439-ПП О концепции строительства скоростной транспортной системы между Московским международным деловым центром «Москва-Сити» и аэровокзальным комплексом «Шереметьево». [Электронный ресурс]: <https://mos.ru/authority/documents/doc/27166220/>. Доступ 21.01.2022.

³⁸ Гироскоп (от др.-греч. γῑρος «круг» + σκόλεо «смотрю») – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено, относительно инерциальной системы отсчёта. Термин впервые введён Ж. Фуко в 1852 году.

Высота рельса от уровня дороги составляет всего два сантиметра, и он не создаёт помех автомобильному движению. В результате загруженные мегаполисы могут получить крупное транспортное средство, способное передвигаться над городскими дорогами, используя только разделительную полосу между рядами³⁹.

Наметился совершенно новый подход к созданию транспортных средств для перевозки пассажиров, ориентированный на гибридные транспортные средства. В настоящее время во многих странах идут попытки создать «идеальный гибрид», в котором достоинства каждого вида транспорта должны заменить его недостатки.

И в целом, в числе футуристических трендов есть много так или иначе относящихся к транспорту⁴⁰.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённого исследования и аналитического обзора отечественного и мирового опыта в области совершенствования существующих и создания инновационных транспортных средств для перевозки пассажиров в городе можно выявить основные тенденции в рассматриваемой области.

Это, прежде всего, переход на возобновляемые источники энергии, улучшающие экологию; развитие высокоскоростных систем для уменьшения времени поездки пассажиров; строительство тоннелей, сокращающих занятость площадей города; внедрение беспилотников, уменьшающих количество ДТП; распространение велосипедов как возможности уменьшения гиподинамии городских жителей и ряд других.

³⁹ Транспорт будущего: россиянин придумал, как избавить мир от пробок. [Электронный ресурс]: https://news.rambler.ru/other/38274456/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink. Доступ 21.01.2022.

⁴⁰ РБК Тренды. Футурология. [Электронный ресурс]: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f6859dc9a794726131>. Доступ 03.02.2022.

Дальнейшее развитие транспортной инфраструктуры особенно крупных городов и мегаполисов различных стран мира должно учитывать имеющиеся научные наработки и опыт их применения в проблемах города и пути выхода из этих проблем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Троицкая Н. А., Круглова А. А., Мороз Д. Г. Начало развития транспорта общего пользования, или История развития таксомоторных перевозок // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2018. – № 12. – С. 20–30. [Электронный ресурс]: <https://panor.ru/articles/nachalo-razvitiya-transporta-obshchego-polzovaniya-ili-istoriya-razvitiya-taksomotornykh-perevozk/18054.html>. Доступ 03.02.2022.

2. Материалы VI глобальной недели безопасности дорожного движения под эгидой ООН // Автомобильные дороги. – 2021. – № 6. – С. 62–63.

3. Троицкая Н. А. Инновационный подход к транспортному обеспечению городов будущего // Вестник МАДИ. – 2021. – № 4. – С. 91–98. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47520995>. Доступ 03.02.2022.

4. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. – М.: Территория будущего, 2011. – 413 с. ISBN 978-5-91129-058-0. [Электронный ресурс]: <http://amac.md/Biblioteca/data/29/07/14.2.pdf>. Доступ 03.02.2022.

5. Троицкая Н. А. Новые проблемы – новые решения // Автомобильный транспорт. – 2021. – № 6. – С. 46–52.

6. Троицкая Н. А. Эволюция подвижного состава автомобильного транспорта // Автотранспорт. Эксплуатация, обслуживание и ремонт. – 2020. – № 11. – С. 51–60. [Электронный ресурс]: <https://panor.ru/articles/evolyutsiya-podvizhnogo-sostava-avtomobilnogo-transporta/51279.html>. Доступ 03.02.2022; № 12. – С. 67–79. [Электронный ресурс]: <https://panor.ru/articles/evolyutsiya-podvizhnogo-sostava-avtomobilnogo-transporta/53085.html>. Доступ 03.02.2022.

7. Ferreira, H. P., Stephan, R. M. Air Cushion Vehicle (ACV): History Development and Maglev Comparison. Transportation Systems and Technology, 2019, Vol. 5, Iss. 1, pp. 5–25. DOI: doi: 10.17816/transsyst2019515-25.

8. Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы на Земле и в космосе: Научная монография. – Минск: Беларуская наука, 2017. – 379 с. ISBN 978-985-08-2162-1.

9. Юницкий А. Э., Цырлин М. И. Экологические аспекты струнного транспорта // Инновационный транспорт INNOTRANS. – 2020. – № 2 (36). – С. 7–9. DOI: 10.20291/2311-164X-2020-2-7-9.

10. Юницкий А. Э., Гарах В. А., Зайцев А. Д., Цырлин М. И. Конструктивные особенности юникара тропического для городских перевозок пассажиров // Инновационный транспорт. – 2021. – № 1 (39). – С. 8–15. DOI: 10.20291/2311-164X-2021-1-8-15.

11. Тимофеева М. А., Романевич К. В., Поцешковская И. В. Тенденции освоения подземного пространства городов в связи с растущей автомобилизацией // Метро и тоннели. – 2021. – № 2. – С. 38–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45798582>. Доступ 03.02.2022. ●

Информация об авторе:

Троицкая Наталья Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, tronat@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2022, актуализирована 03.02.2022, одобрена после рецензирования 15.02.2022, принята к публикации 25.02.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.4.015

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-6>

Оценка опасности выжимания порожних вагонов при маневровых соударениях и переходных режимах движения в тяжеловесных поездах



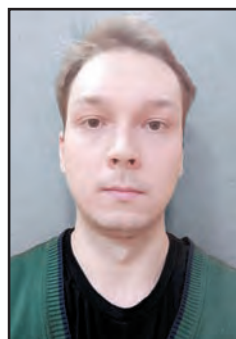
Геннадий ПЕТРОВ



Виктор ФИЛИПОВ



Надежда КУРЗИНА



Иван СЕРГЕЕВ

Геннадий Иванович Петров¹, Виктор Николаевич Филиппов², Надежда Михайловна Курзина³, Иван Константинович Сергеев⁴

^{1, 2, 3, 4} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ³ kurzina.nadia@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

Повышение пропускной и провозной способности грузонапряженных участков и направлений железных дорог достигают путём введения в обращение грузовых поездов повышенного веса и длины, что в свою очередь приводит к изменению продольной динамики движения и возникновению дополнительных нагрузок на подвижной состав и железнодорожный путь.

В этой связи применительно к российским условиям для обеспечения перевозок в необходимом объёме с заданным уровнем безопасности необходимо пересмотреть действующие нормативы, рассчитанные на максимальные продольные усилия сжатия 50 тс, которые в настоящее время в тяжеловесных поездах превышены более чем в два раза.

На основе анализа существующих нормативных документов, отечественного и зарубежного опыта обоснована необходимость и предложены способы улучшения продольной динамики поездов. Проведено моделирование накатывания платформы с типовыми поглощающими аппаратами типа Ш-1-ТМ на сцеп полувагонов, также оснащённых типовыми поглощающими аппаратами типа Ш-1-ТМ, с определением аварийных режимов. Обоснована целесообразность повышения энергоёмкости поглощающих аппаратов за счёт новых конструктивных решений, а также снижения продольных усилий за счёт внедрения плавающих хребтовых балок.

Ключевые слова: железнодорожный грузовой транспорт, продольная динамика поезда, расчёт параметров маневровых соударений и переходных режимов, поглощающий аппарат, плавающая хребтовая балка.

Для цитирования: Петров Г. И., Филиппов В. Н., Курзина Н. М., Сергеев И. К. Оценка опасности выжимания порожних вагонов при маневровых соударениях и переходных режимах движения в тяжеловесных поездах // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-6>.

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

Повышение пропускной и провозной способности грузонапряжённых участков и направлений российских и некоторых зарубежных железных дорог в настоящее время достигают путём введения в обращение грузовых поездов повышенного веса и длины, что в свою очередь приводит к изменению продольной динамики движения и возникновению дополнительных нагрузок на подвижной состав и железнодорожный путь.

Первыми директивными документами, принятыми на российских железных дорогах в отношении грузовых поездов повышенного веса и длины, они определялись, как поезда весом более 6000 т, длиной более 284 осей, с одним или несколькими действующими локомотивами, находящимися в голове состава, в голове и хвосте, в голове и последней трети состава. На 1 января 2015 г. в соответствии с классификацией и специализацией железнодорожных линий, разработанной АО «Институт экономики и развития транспорта», железнодорожная линия с тяжеловесным грузовым движением определялась как линия, по которой осуществляется движение грузовых поездов массой 6300 т и более, включающих вагоны с нагрузкой на ось до 25 тс [1]. В настоящее время при описании грузонапряжённого движения все активнее оперируют массой грузовых поездов от 7000 т и выше [2]. Следовательно, масса тяжеловесов выросла как минимум на 17 %.

Стоит заметить, что в соответствии с классификацией Международной ассоциации по тяжеловесному движению (International Heavy Haul Association (ИННА)) железная дорога для таких перевозок должна соответствовать как минимум двум из следующих трёх критериев [3]:

- Регулярная эксплуатация поездов массой не менее 5000 тонн.
- Перевозка не менее 20 миллионов тонн в год в сегменте линейных перевозок длиной не менее 150 км.
- Эксплуатация подвижного состава с нагрузкой на ось 25 тонн и более [3].

Следовательно, зарубежные коллеги оперируют со значительно меньшими массами поездов, что повышает уровень безопасности перевозочного процесса.

Если протяжённость полигона обращения грузовых тяжеловесных поездов в РФ на 1 января 2015 г. составляла 9,76 % от эксплуа-

тационной протяжённости сети дорог, то планируемая длина к 2025 г. должна достигнуть 33,6 %. Причём обращение поездов массой 7100 т, осевой нагрузкой 25 тс происходит в основном на Восточном полигоне для обеспечения перевозки массовых экспортных грузов в порты Дальнего Востока, Китая, а также от угольных шахт Кузбасса, для него характерен сложный рельеф с множеством горно-перевальных участков, кривых малого радиуса и суровым климатом.

В результате экспериментальных исследований установлено, что вертикальные силы, действующие от колеса на рельс, в тяжеловесном поезде возрастают пропорционально осевой нагрузке, а продольные силы могут быть в 2,0–2,5 раза больше максимальной силы тяги локомотива по сцеплению [4]. По данным ОАО «ВНИКТИ», максимальные продольные усилия сжатия в грузовых составах превысили норматив 50 тс и достигли 120 тс в поезде массой 12600 т и 140 тс в поезде массой 14200 т [5]. Следовательно, в настоящее время для обеспечения перевозок в необходимом объёме с заданным уровнем безопасности необходимо пересмотреть действующие нормативы и предложить варианты снижения негативного влияния на подвижной состав и железнодорожный путь действующих сверхнормативных нагрузок. Если усилению земляного полотна, верхнего строения железнодорожного пути, мостовых конструкций на линиях с тяжеловесным движением в последние годы посвящено большое количество работ отечественных исследователей, то вопросам совершенствования продольной динамики подвижного состава внимание уделялось недостаточно, поэтому данная проблематика является актуальной.

Мировые особенности организации тяжеловесного движения [6] также свидетельствуют о целесообразности специализации участка железной дороги, на котором будут курсировать с определённой скоростью поезда оптимальной длины и веса [7], состоящие из наиболее удобного, однотипного подвижного состава, пригодного для быстрой погрузки и выгрузки вагонов. С этой целью проводят исследования условий взаимодействия экипажа и пути, колеса и рельса, продольной динамики поезда, скоростных режимов, профиля и плана пути конкретного участка.

В процессе эксплуатации, особенно при неправильных действиях персонала, может



Величины продольных расчётных режимных нагрузок при оценке на прочность разных типов вагонов [8]

Наименование вагонов	Величина продольной нагрузки, МН			
	Расчётные режимы			
	I		III	
	Квазистатическая сила	Удар, рывок	Квазистатическая сила	Удар, рывок
Грузовые вагоны основных типов	-3,0 +2,5	-3,0 +2,5	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0
Изотермические вагоны, хоппер-дозаторы, вагоны-самосвалы	-2,5 +2,5	-3,0 +2,5	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0
Пассажирские вагоны всех типов, включая почтовые, багажные и почтово-багажные	-2,5 +1,5	-2,5 +2,0	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0

происходить появление сверхнормативных динамических режимов, что несёт в себе особую опасность при производстве маневровых операций и ведении тяжеловесных поездов большой длины на участках пути переломного профиля. Действующими в настоящее время нормами [8] установлены следующие основные нормируемые расчётные режимы нагружения разного типа подвижного состава (табл. 1).

Однако, существующие нормы не устанавливают предельные значения продольных усилий при вождении поездов по переломным профилям с учётом режимов рекуперации, а также в них отсутствуют предельные значения величин продольных сил, при достижении которых порожние вагоны могут быть выжаты из колеи.

Впервые проблемы выжимания порожних вагонов на железных дорогах возникли, когда грузовой парк начали экипировать вагонами с разным числом осей (от двух и более). Причём двухосные вагоны обладали короткой базой и малой массой тары. При появлении мощных локомотивов участилось выжимание вагонов из колеи, что приводило к аварийным последствиям. Для устранения этой проблемы понадобилось тщательное слежение за формированием поезда путём установки порожних вагонов в конец состава, что создавало определённые трудности при выполнении маневровых операций. Однако в последующем двухосные вагоны были изъяты из эксплуатации, и проблема выжимания утратила свою актуальность.

С появлением специализированных вагонов, которые перевозили опасные грузы, вопросы продольной динамики поезда, прочности, устойчивости вагонов, нагруженности их элементов при маневровых соударениях и

различных аварийных ситуациях снова вышли на первый план [9; 10]. Для исследования нагруженности цистерн при аварийных режимах соударений использовали различные расчётные имитационные модели, анализировали перемещения, скорости и ускорения узлов, а также усилия в отдельных элементах.

В начале 2000-х годов были разработаны методы расчёта продольных динамических сил в автосцепках грузовых вагонов длинно-составных и тяжеловесных поездов [11], учитывающие особенности характеристик, массово применяемых в то время тормозных приборов и поглощающих аппаратов, а также проведено моделирование движения длинных тяжеловесных составов по кривой под уклон в режиме торможения для выявления области возможного выброса вагона из колеи [12].

Целью проведённого исследования были обоснование необходимости и общая оценка возможных способов улучшения продольной динамики поездов. В качестве основных методов были использованы контент-анализ научных публикаций, физико-математические расчёты и моделирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Современные подходы к анализу динамики тяжеловесных и длинных поездов

В настоящее время проблема вновь стала актуальной в связи со следующим этапом значительного увеличения длины и веса поездов. В ряде работ зарубежных авторов рассмотрены математические модели межвагонных соединений, используемых в длинном и тяжёлом поезде, учитывающие упруго-фрикционные свойства поглощающих устройств и зазоры в автосцепных устройствах, соединяющих вагоны поезда.

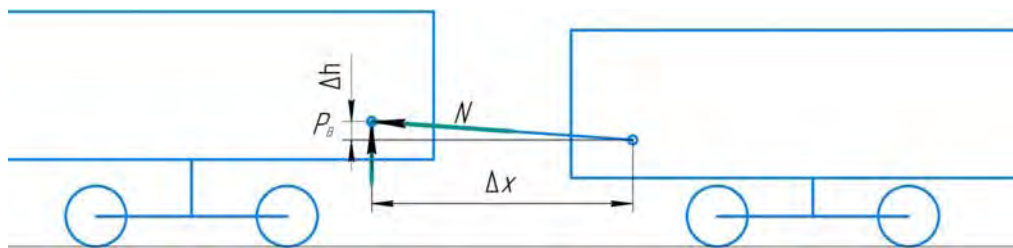


Рис. 1. Схема действия сил в узле автосцепки [выполнено авторами].

Современные вычислительные методы позволяют моделировать каждый вагон как отдельную массу, соединять их в состав посредством не только упругих, но и вязкоупругих связей в соответствии с типом поглощающего аппарата. В работе [13] с помощью математической модели длинного поезда, состоящего из 107 вагонов с распределённой нагрузкой, сравнивали различные варианты сцепления системы. Было показано, что уменьшение провисания автосцепки способствует снижению внутреннего усилия и усталостных повреждений. Характер трения в поглощающем аппарате оказался важным фактором в контроле внутривоздушных сил и минимизации усталостных повреждений. Показано, что больше всего усталостных повреждений происходит в середине поезда, в головной части их количество минимально из-за более мягкой динамики, а в хвосте поезда – вследствие действия устойчивых сил с редкими сильными всплесками.

В работе [14] на основе имитационной модели исследовано влияние экстренного торможения тяжеловесных поездов в кривых разного радиуса на безопасность и плавность хода. Уменьшение радиуса кривой до 500 м, а также её длины увеличивает коэффициент схода колеса с внешнего рельса при условии торможения, значительно снижает уровень безопасности и может привести к аварийной ситуации. Поэтому необходим выбор оптимального маршрута движения поездов. Важнейшим фактором, влияющим на эффективность управления тяжеловесными поездами, является увеличение количества вагонов, а, следовательно, веса, длины и нагрузки на ось, что значительно увеличивает тормозную волну в процессе движения тяжеловесного поезда и изменяет его динамические характеристики.

Однако, следует отметить, что условия эксплуатации отечественных тяжеловесных

составов значительно жёстче зарубежных и связаны с большей массой вагонов, протяжённостью маршрутов, сложным планом и профилем пути, а также состоянием железнодорожного полотна.

Моделирование ситуаций

Рассмотрим факторы, влияющие на распределение сил в узле автосцепки (рис. 1).

Как видно из указанной схемы, вертикальная сила, поднимающая вагон, может быть найдена по формуле:

$$P_v = N \cdot \frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + \Delta x^2}}. \quad (1)$$

Согласно значениям, представленным в табл. 1, продольная сила при ведении состава может достигать 3 МН (300 тс). Нетрудно оценить величину вертикальной составляющей межвагонной реакции, зная необходимые геометрические размеры. Предельно допустимая разница высот автосцепок при формировании поезда составляет $\Delta h = 100$ мм, а расстояние между торцами автосцепок смежных вагонов не превышает $\Delta x = 2000$ мм.

В этом случае вертикальную составляющую P_v определим, используя выражение (1):

$$P_v = 300 \cdot \frac{100}{\sqrt{100^2 + 2000^2}} \approx 15 \text{ тс}.$$

Поскольку на сети железных дорог наиболее распространены четырёхосные вагоны с массой тары не более 25 т, то сила, прижимающая кузов к одной тележке в зоне пятника, не превысит 12,5 тс, что меньше рассчитанного значения вертикальной составляющей P_v . Следовательно, порожний вагон, не оборудованный специальными пятниковыми фиксаторами, в заданных условиях будет выжат из колеи.

Расчёты показали, что при накатывании порожней платформы с поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ с горки на сцеп из пяти полувагонов с теми же поглощающими аппаратами



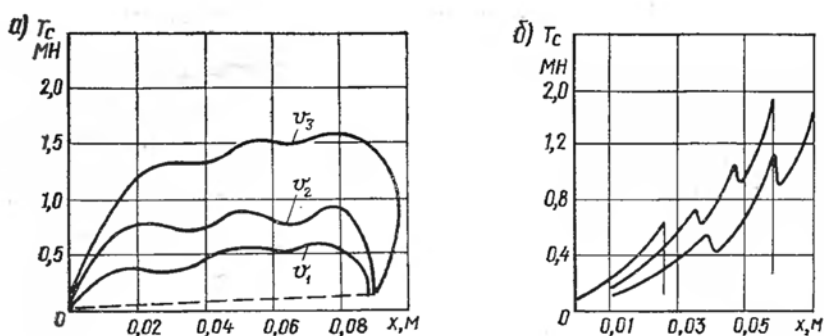


Рис. 2. Типы силовых характеристик поглощающих аппаратов [15]:
а – мягкая характеристика, б – жёсткая характеристика.

Ш-1-ТМ со скоростью 3,6 м/с продольные силы при столкновении увеличиваются в 2,5 раза, а ускорения – в 2,7 раз по сравнению со штатным режимом, что приведёт к повреждению автоцепки хвостового вагона. А в случае накатывания полузагруженной цистерны произойдёт выкатка тележки головного вагона.

Варианты решения проблемы

Возможны несколько вариантов решения этой проблемы:

1. Изменение характеристик поглощающих аппаратов с целью уменьшения значения продольных сил.
2. Увеличение расстояния между торцами хвостовиков автоцепок вагонов путём некоторых новых конструктивных решений.
3. Создание жёсткой связи тележки и кузова в зоне пятника путём применения замковых шкворней. Такое решение реализовано в настоящее время в конструкции кузовов пассажирских вагонов.

Следует отметить, что на величину межвагонной реакции в значительной мере влияет величина хода поглощающего аппарата. В связи с тем, что конструкция автоцепного устройства разрабатывалась в 1930-х годах, габаритные размеры внутренней части были выбраны таким образом, чтобы обеспечивать эффективную работу существующих в этот период конструкций поглощающих аппаратов. Однако данная конструкция, обеспечивающая максимальный ход величиной в 120 мм, с тех времён не совершенствовалась, что накладывает значительные геометрические ограничения на разрабатываемые модели современных поглощающих аппаратов.

Величина необратимо поглощённой энергии в аппарате зависит от площади силовой

характеристики, наиболее распространённые варианты которых приведены на рис. 2 [15].

Одним из вариантов решения задачи уменьшения продольной силы в составе является применение аппаратов с мягкой характеристикой взамен тех, которые обладают жёсткой силовой характеристикой. К первым в основном относятся эластомерные и гидравлические поглощающие аппараты, а также другие разрабатываемые перспективные конструкции (например, гидрогазовые аппараты, где в качестве рабочего органа применяются жидкость и газ под давлением).

Зарубежный опыт прошлых лет [16] также показал целесообразность применения поглощающих аппаратов с мягкой силовой характеристикой, которая достигается не только выбором типа рабочего тела (фрикционный, эластомерный, гидравлический или их комбинации), но и увеличением максимального рабочего хода за счёт изменения габаритов рабочего хода (прежде всего длины) поглощающего аппарата. Конструктивные решения различных американских поглощающих аппаратов длиной от 18 до 43 дюймов представлены на рис. 3.

Современными зарубежными исследователями проведена сравнительная оценка влияния вида силовой характеристики поглощающих устройств на максимальные продольные силы, возникающие в межвагонных соединениях поездов [17]. На основании полученных результатов определены основные положительные и отрицательные свойства жёстких, линейных и мягких силовых характеристик поглощающих аппаратов автоцепок.

Для расчёта различных ситуаций маневрового соударения и переходных режимов движения поезда отечественными специалистами

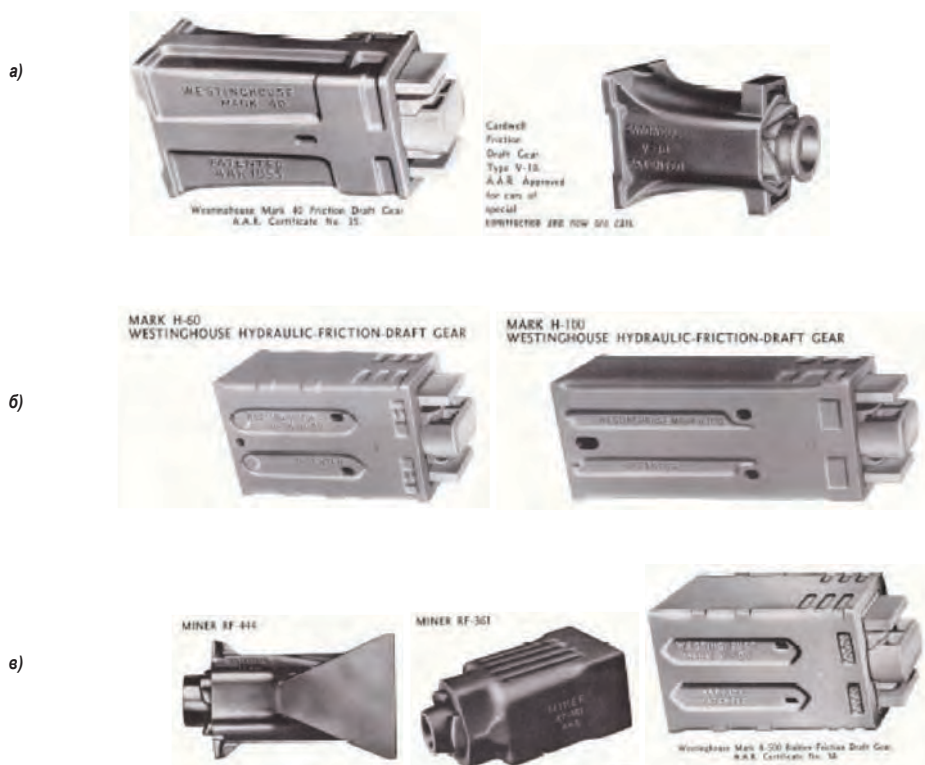


Рис. 3. Типы поглощающих аппаратов, применяемых на американских железных дорогах: а) фрикционные; б) фрикционно-гидравлические; в) резино-фрикционные [16].

разработана общая математическая модель, описывающая работу эластомерного поглощающего аппарата, которая представляет собой зависимость реакции аппарата от его деформации и скорости такой деформации, с учётом начальной затяжки аппарата и свойств рабочих тел [18].

В качестве параметра, характеризующего эффективность поглощающих аппаратов различных типов, предложено использовать критерий потребляемой мощности [19].

Таким образом, повсеместное применение эластомерных поглощающих аппаратов (или иных с мягкой характеристикой), а также увеличение их максимального рабочего хода, позволит снизить значение межвагонных динамических сил и решить проблему выжимания порожних вагонов в составе поезда.

Кроме того, поскольку вертикальная составляющая межвагонной реакции зависит от расположения торцов автосцепок, то конструктивное исполнение упряжи, при котором параметр Δx будет больше по сравнению с традиционным вариантом реализации, позволит снизить значение подъёмной силы. До-

стичь такого эффекта можно благодаря применению автосцепок увеличенной длины в конструкции упряжи. Такие варианты были реализованы на железных дорогах США ещё во второй половине XX века. Некоторые конструкции таких автосцепок представлены на рис. 4–6.

Однако применение автосцепок увеличенной длины влечёт за собой проблемы сцепляемости в кривых и требует применения аппаратов с большим упругим ходом. Кроме того, учитывая последние тенденции роста осевых нагрузок подвижного состава, величины продольных уско-

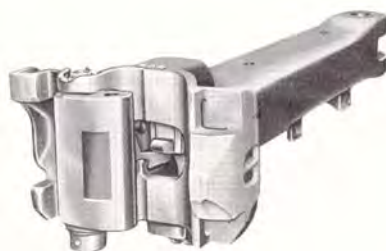


Рис. 4. Автосцепка AAR Standard H [16].





Рис. 5. Автосцепка AAR Standard H в комплектации с тяговым хомутом [16].



Рис. 6. Автосцепка National E-F с поворотным хвостовиком [16].

рений в поездах могут достигать 12g. Для решения данной проблемы на американских железных дорогах применялись специальные торцевые упоры (рис. 7). Такое конструктивное исполнение позволяет не допустить выхода груза за пределы кузова подвижного состава при высоком уровне продольных ускорений.

Следует отметить, что актуальным является также применение конструкций, позволяющих не только предотвратить выкатывание груза, но и снизить уровень продольных ускорений. К таким решениям относится применение плавающих хребтовых балок,

которые впервые были внедрены на железных дорогах США во второй половине XX века. Первый опыт предполагал процедуру внедрения гидравлического демпфера в центральную часть хребтовой балки (рис. 8). В результате проведенных экспериментальных исследований были получены данные, подтверждающие снижение величины горизонтальной составляющей тяговой силы в узле автосцепки (рис. 9).

В таблице рис. 9 указаны различные значения скоростей соударения и соответствующие им силы в автосцепке. Во время теста номер 3 (третья строка) максимальная сила

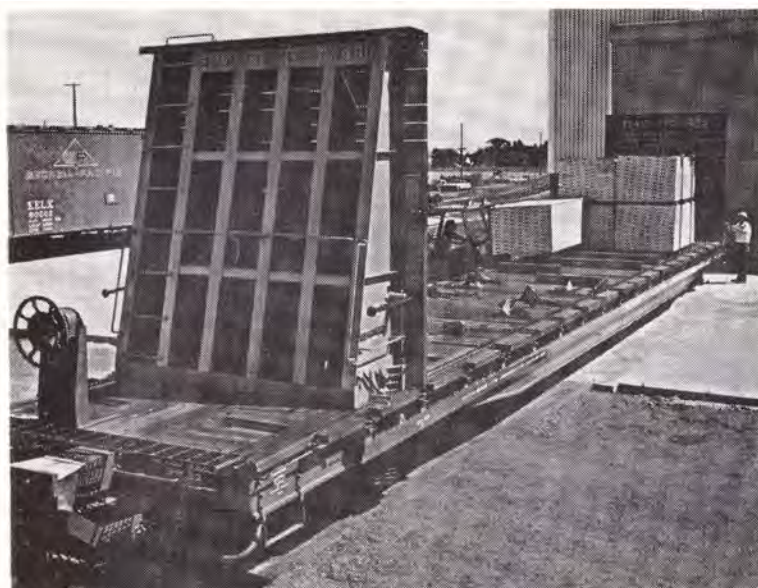


Рис. 7. Платформа компании Evans Products с торцевыми ограничителями [16].

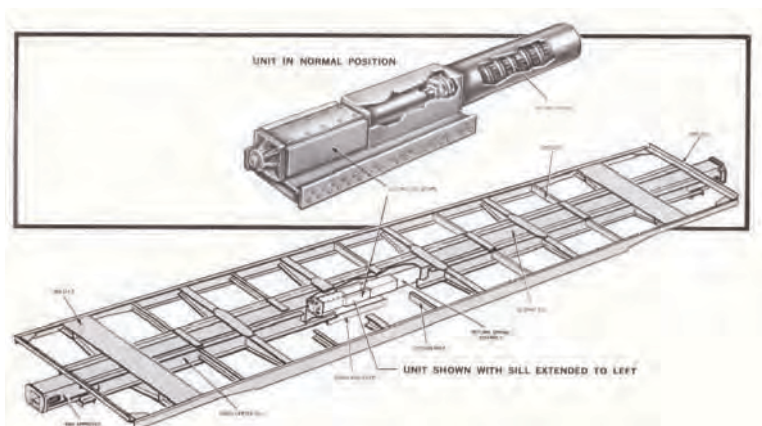


Рис. 8. Хребтовая балка с гидравлическим демпфером в центральной части [16].

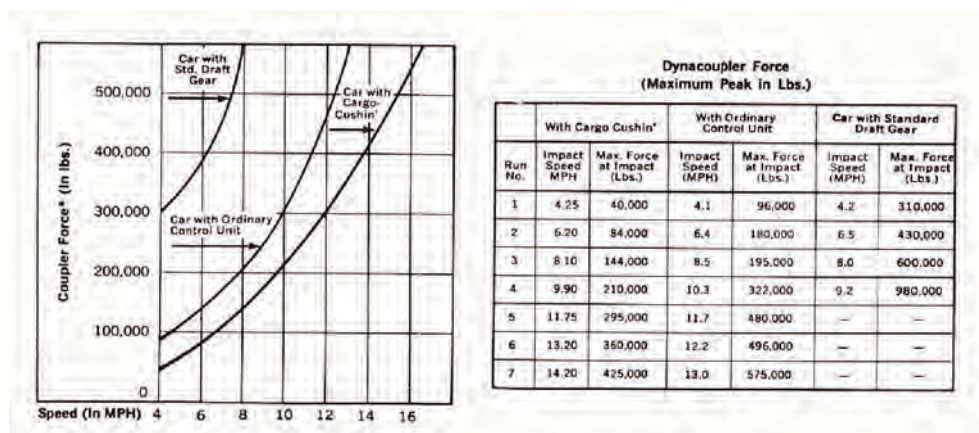


Рис. 9. Результаты испытаний теста нагруженности вагона с плавающей хребтовой балкой и без неё [16].

в автосцепке вагона со стандартной хребтовой балкой составила 600000 фунтов силы, а при испытании вагона с плавающей хребтовой балкой значение силы снизилось более чем в четыре раза и составило 144000 фунтов силы.

На отечественных железных дорогах попытки применения конструкций вагонов с плавающими хребтовыми балками [20] были реализованы только в рамках испытаний вагонов специального назначения, например, вагоны модели 11-9960 ОАО «ТВЗ».

Выводы

Таким образом, решение вопросов, связанных с изучением продольной динамики поездов в современных условиях их эксплуатации (значительным увеличением доли длинно-составных и тяжеловесных поездов, курсирующих по криволинейным и горно-перевальным участкам), корректировкой соответствующих нормативных

документов, является весьма актуальной задачей.

Предварительные расчёты показали, что повышение скорости накатывания порожней платформы с аппаратами типа Ш-1-ТМ с горки на сцеп из пяти полувагонов с теми же аппаратами на более 3 м/с значительно увеличивает продольные силы при столкновении и ускорении, что может привести к повреждению автосцепки хвостового вагона, а в случае накатывания полузагруженной цистерны – к выкатке тележки головного вагона. Для более точной оценки аварийных ситуаций необходимо провести моделирование большого количества вариантов на различных типах и моделях вагонов.

На основе изученного отечественного и зарубежного опыта улучшения продольной динамики поездов целесообразно повысить энергоёмкость поглощающих аппаратов автосцепки не только путём совершенствования рабочего тела, но и увеличения максимального рабочего хода





за счёт изменения расстояния между торцами хвостовиков автосцепок, а также разработать конструкции серийных вагонов различных типов с плавающими хребтовыми балками.

Разработка конкретных рекомендаций может быть осуществлена в ходе дальнейших углублённых исследований данного вопроса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шарапов С. Н., Исаенко Э. П. Рекомендации по усилению пути на линиях с тяжеловесным движением // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 7. – С. 2–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26463710>. Доступ 11.01.2022.
2. Пехтерев Ф. С. О перспективных полигонах обращения составов поездов из вагонов с повышенной осевой нагрузкой // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 10. – С. 31–33. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27170504>. Доступ 11.01.2022.
3. Heavy Haul Rail Capacity Development in India (HNRCIDI). Terms of Reference. 7 July 2014, 5 p. [Электронный ресурс]: http://dfccil.com/upload/7th_July.2014_TOR_HNRCIDI_final__1_08072014.pdf. Доступ 11.01.2022.
4. Исследования по динамике рельсовых экипажей / Под общ. ред. проф. В. А. Лазаряна. – Днепропетровск, 1974. – 170 с.
5. Коссов В. С., Лунин А. А., Панин Ю. А., Трифонов А. В., Ильин И. Е. Воздействие длинносоставных поездов на путь // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. – № 4. – С. 224–232. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26452928>. Доступ 12.01.2022.
6. Genin, I., Ginsberg, I., Ting, E. Longitudinal track-train dynamics: a new approach. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 1974, No. 4, pp. 466–469. DOI: 10.1115/1.3426847.
7. Martin, I. C. Study optimum length, speed and weight of freight trains under varying traffic and competitive and operating conditions. Bulletin of American Railway Engineering Association, 1972, Vol. 74, No. 639, pp. 11–23.
8. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с. [Электронный ресурс]: <https://dwg.ru/dnl/2822>. Доступ 12.01.2022.
9. Филиппов В. Н., Радзиховский Е. А. Исследование поведения вагонов при аварийном соударении (Анализ аварийных ситуаций с цистернами) // Вестник ВНИИЖТ. – 1994. – № 3. – С. 9–12. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28874890>. Доступ 12.01.2022.
10. Болдырев А. П., Гапчин Р. Б. Совершенствование математических моделей эластомерных поглощающих аппаратов для вагонов-цистерн // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – № 3 (35). – С. 57–63. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23741702>. Доступ 12.01.2022.
11. Бубнов В. Ю. Уменьшение продольных усилий в автосцепках вагонов при движении тяжеловесных и

длинносоставных грузовых поездов / Автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2006. – 24 с. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003258253/. Доступ 12.01.2022.

12. Квасников Б. Н. Исследование возможности выброса вагона при движении длинного тяжеловесного поезда по кривой под уклон в режиме торможения // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – 2008. – № 3 (16). – С. 126–146. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-vybrosa-vagona-pri-dvizhenii-dlennogo-tyazhelovesnogo-poezda-po-krivoy-pod-uklon-v-rezhime-tormozheniya>. Доступ 13.01.2022.

13. Cole, C., Sun, Y. Q. Simulated comparisons of wagon coupler systems in heavy haul trains. Centre for Railway Engineering, Central Queensland University, Australia. Proc. IMechE, 2006, Vol. 220, Part F, pp. 247–256. DOI: 10.1243/09544097JRR35.

14. Wang, Yuqi; Zheng, Shouwei. Simulation analysis of dynamic control performance of heavy haul train under breaking. Academic journal of manufacturing engineering, 2020, Vol. 18, Iss. 3, pp. 193–200. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.net/202780300-Simulation-analysis-of-dynamic-control-performance-of-heavy-haul-train-under-breaking.html>. Доступ 13.01.2022.

15. Шадур Л. А., Челноков И. И., Никольский Л. Н. и др. Вагоны: Конструкция, теория и расчёт / Под ред. Л. А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 440 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/shadur-lared-vagony-konstrukciya-teoriya-i-raschet_893a40e66cf.html. Доступ 13.01.2022.

16. Car and Locomotive Cyclopedia of American Practice. 2nd edition by C. L. Combes (Editor). New York, Simmons-Boardman Publication Corporation, 1970, 1074 p. ISBN-10 1122559348, ISBN-13 978-1122559348.

17. Shimanovsky, A. O., Sakharau, P. A., Kuzniatsova, M. G. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 985, pp. 012027. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012027.

18. Андриянов С. С. Математическая модель эластомерного поглощающего аппарата // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 2 (57). – С. 214–218. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/286>. Доступ 12.01.2022.

19. Котуранов В. Н., Беспалько С. В., Корниенко Н. А., Козлов М. П. Потребляемая мощность как энергетический критерий оценки эффективности поглощающих аппаратов автосцепки // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 3. – С. 18–22. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30607267>. Доступ 12.01.2022.

20. Асадулин Е. А., Пайзилдаев А. И., Мепаришвили Г. Р. Параметры плавающей хребтовой балки и актуальность её применения для грузового подвижного состава // Вестник науки. – 2020. – Т. 4. – № 6 (27). – С. 197–201. [Электронный ресурс]: <https://www.xn----8sbemclcwdb3bmt.xn--p1ai/article/3380>. Доступ 18.01.2022.

Информация об авторах:

Петров Геннадий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, petrovgi@gmail.com.

Филиппов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, filipovvp@gmail.com.

Курзина Надежда Михайловна – аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, kurzina.nadia@gmail.com.

Сергеев Иван Константинович – аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, sergeev.workmail@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 19.01.2022, одобрена после рецензирования 17.02.2022, принята к публикации 22.02.2022.



ТРАНСПОРТНАЯ ПОЛИТИКА

60

Влияние транспортной политики на экономику и рост экономики. Уточнение определения, систематизация основ реализации и процессная диаграмма инструментов осуществления. Углублённый анализ экономических факторов.

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 66

Реализация национального проекта «Безопасные качественные дороги» в 2021 году.



БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ

67

Как сочетаются и взаимодополняют друг друга современные бизнес-процессы и процессы цифровизации? Трансформация процессной архитектуры компаний и её влияние на технологичность, экологичность и реинжиниринг бизнеса. Метрики автоматизации и цифрового доверия.



ЭКОНОМИКА





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.47:656.078

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-7>

Транспортная политика: теоретическая база и экономические аспекты

**Артур Владимирович Карлов**

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ karlov@edu.rut-miit.ru

Артур КАРЛОВ

АННОТАЦИЯ

Транспортная политика государства является неотъемлемой частью его экономической и пространственной политики. Актуальность уточнения содержания термина «транспортная политика» обуславливается вниманием государства к проблематике стратегического планирования в области транспорта. В России очевидным свидетельством этого стало утверждение в 2021 году Правительством Российской Федерации обновлённой Транспортной стратегии страны до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

В статье проведён обзор определений транспортной политики в научной литературе, рассмотрены её экономические, экологические, технические, геополитические и другие аспекты. При этом основной акцент в рамках иссле-

дования был сделан на экономические факторы транспортной политики: рассмотрены материалы экономических теорий (пространственное развитие и размещение производительных сил), теорий принятий решений и методов оценки эффективности инвестиций в транспортную инфраструктуру. Уточнены определения и круг их применения. Также установлены составляющие транспортной политики и определён круг инструментов её реализации, в том числе финансовых, регуляторных и других.

На основании полученных данных составлена конструкция взаимосвязей между транспортной политикой и экономическим ростом, выделены социальные и иные составляющие экономических аспектов.

Ключевые слова: транспортная политика, государственная политика, транспорт, экономика транспорта.

Для цитирования: Карлов А. В. Транспортная политика: теоретическая база и экономические аспекты // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-7>.

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

Транспортная политика государства – одно- временно и хорошо изученная, и слабо структурированная область знаний. В то время как роль транспорта в экономике, влияние отдельных транспортных проектов на социально-экономическое развитие являются предметом многочисленных научных работ, сам термин «транспортная политика», круг его употребления, изучения и применения до сих пор малообоснован в русскоязычной научной литературе. Одним из следствий этого является то, что и методологическая рамка транспортной политики также очерчена довольно слабо.

Тема транспортной политики как теоретической области знаний особенно актуальна в нашей стране в свете того, что в ноябре 2021 года Правительство утвердило обновлённую Транспортную стратегию Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года¹. Стратегия в редакции 2021 года ввела ряд новых принципов и понятий в систему государственного управления развитием транспортной отрасли. В центр внимания переместились потребители транспортных услуг – пассажиры, бизнес, государство, тем самым был задан ориентир на клиентоцентричность. Также в Стратегии введено понятие Единой опорной транспортной сети, которая включает в себя опорную сеть автомобильных дорог, железных дорог, аэропортов, морских портов, внутренних водных путей. Единая сеть – каркас транспортной системы страны, который получит приоритетное развитие.

Таким образом, государство сформировало основные векторы и направления реализации транспортной политики.

Целью исследования является анализ теоретической базы современной транспортной политики: обзор понятий (транспортная политика, стратегическое планирование), научной базы (теория пространственного развития, методы принятия решений) и взаимосвязи транспортной политики с экономическим ростом.

В процессе исследования применялись *методы* системного подхода, синтеза, лингвистического и экономического анализа, экспертных оценок.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>. Доступ 17.01.2022.

В рамках исследования проведён анализ имеющихся определений и методических положений по применению инструментария транспортной политики, разработаны предложения по их развитию, установлена связь между практическими инструментами и научными разработками, выделены и структурированы экономические аспекты транспортной политики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ и адаптация терминологии

Анализ отечественной литературы на тему транспортной политики демонстрирует широкую интерпретацию термина «транспортная политика». Несмотря на то, что термин является устоявшимся и используется отечественными исследователями в контексте изучения политических и экономических предпосылок реализации решений в области транспорта, представляется, что отсутствует единый понятийный аппарат в части самого термина «транспортная политика».

Так, исследователями Ю. Ф. Голиусом, Н. В. Мишиной, М. Ю. Соколовым транспортная политика рассматривается как производная от более широкого контекста государственной политики [1–4]. Ряд авторов, такие как О. В. Дмитрук, В. В. Цыганов, В. А. Бородин, А. В. Лемешкова, Ю. И. Шелистов, В. Ю. Ладвищенко рассматривают транспортную политику в контексте экономической региональной интеграции, например, в рамках объединений Европейского союза и Евразийского экономического союза [5–7]. М. Ю. Медведков рассуждает, кроме того, о транспортной политике в контексте присоединения к ВТО [8]. О. И. Карасёв, А. О. Кривцова [9] и многие другие авторы рассматривали примеры транспортной политики на уровне городского хозяйства. Следует отметить, что ни в одном из вышеуказанных отечественных источников определения термину «транспортная политика» не дано.

В иностранной литературе предмет наиболее проработан Жан-Полем Родригом (*Jean-Paul Rodrigue*) [10], рассмотревшим отличия политики от планирования в транспортной сфере, а также давшим чёткие определения обоим терминам. Айан Докерти и Джон Шоу (*Iain Docherty, Jon Shaw*) рассматривали в своей главе в «Международной энциклопедии человеческой географии» [11] комплекс управленческих моделей в транспортной отрасли в рамках более широкого





Рис. 1. Формирование транспортной политики [разработано автором].

и обладающего специфической трактовкой англоязычного термина *governance*, который в упрощённом виде может быть разъяснён как управление (на государственном, корпоративном уровне) на основе наделения властными полномочиями. В прикладных исследованиях транспортная политика, как правило, широко рассматривается в контексте анализа эффективности инфраструктурных проектов [12; 13] и при учёте факторов устойчивого развития [14].

Анализ представленных материалов позволяет синтезировать круг областей, показанных на рис. 1, с которыми связана транспортная политика.

На базе проведённого анализа сформулировано следующее определение: «Транспортная политика – совокупность практик, принципов и критериев, на базе которых осуществляется регулирование социальных, экономических, технических и экологических аспектов развития транспортной системы, а также её безопасное функционирование и достигается её производительность».

Введение в научный оборот данного определения позволит предметно обосновывать и анализировать те или иные научные направления транспортной политики, её составляющие и основополагающие принципы.

Экономические аспекты реализации транспортной политики

Предлагается более подробно рассмотреть экономические аспекты транспортной политики. Анализ вышеупомянутых и про-

чих источников свидетельствует о том, что первоочередной (но не единственной) задачей транспортной политики является сокращение транспортных издержек.

Задаче сокращения транспортных издержек посвящён значительный пласт научной литературы, она также тесно связана с проблемой пространственного развития и размещения производительных сил, экономической географией [15].

Несмотря на хорошо проработанную теоретическую базу, в реальной жизни решения о пространственном развитии принимаются вне рамок рациональных процессов, на них влияют политические и исторические факторы.

Следовательно, процесс принятия решений в транспортной политике также является неотъемлемой составляющей процесса реализации политики как таковой. Сама теоретическая база данного процесса достаточно универсальна, лежит в плоскости политологии и рассматривается в рамках теорий принятия решений и оценки регулирующего воздействия² [16]. При этом данная методология предполагает выход на следующий уровень транспортной политики – отбор конкретных проектов для реализации. Примером данной связи являются методы отбора инфраструктурных проектов на базе методики мультикритериального анализа, требующей, как правило, экспертных оценок и назначения весовых коэффициентов для различных критериев, в том числе, например, для факторов устойчивого развития [17].

Ниже, в табл. 1, представлена цепочка принципов и методологий планирования развития транспортных систем, которая включает основную теоретическую базу по имплементации транспортной политики: от основ (обоснование потребности сокращения транспортных издержек) – через принятие решений (когнитивный процесс) – к прикладным решениям и оценкам (оценка эффективности принимаемых решений).

Взаимосвязь транспортной политики и экономического роста

Инвестиции в транспортную инфраструктуру и технологическое развитие отрасли традиционно ведут к снижению транспортных расходов, что, в свою очередь, стимулирует

² Кузнецова, Н. В. Методы принятия управленческих решений: Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2015. – 222 с.

Таблица 1

Структурное представление теоретических основ реализации транспортной политики [разработано автором]

Методология	Теоретические и методологические подходы
Теории пространственного развития и размещения производительных сил (вклад транспортной отрасли в экономику)	• теории региональной специализации и межрегиональной торговли (Смит, Рикардо, Хекшер, Олин); • теории штандортов (Й. Тюнен, В. Лаунхардт, А. Вебер); • теория центральных мест В. Кристаллера; • учение о пространственной организации хозяйства А. Лёша; • региональная концепция У. Айзарда; • теории полюсов роста и кластеризации; • теории макрорегионального планирования; • различные модели оценки вклада транспортной отрасли в экономику (оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель и др.).
Методология принятия решений (основные применимые модели и теории)	• классическая (нормативная); • бихеовириалистская (Г. Ласуэлл); • дескриптивная (описательная, Г. Саймон); • модель Карнеги (Г. Саймон, Дж. Марч, Р. Кайерт); • модель всеобъемлющей рациональности (Смит, Бентам); • когнитивистская модель ограниченной рациональности; • модель инкрементального процесса принятия решений (Г. Минцберг); • модель «мусорной корзины» (М. Коэн, Дж. Марч, Дж. Олсен); • теория локальных приращений Ч. Линдблома; • метод Дельфи.
Методология оценки эффективности инвестиций в транспортную инфраструктуру для экономики	• анализ издержек и выгод («выгоды-затраты», cost-benefit analysis, CBA) и его производные: – анализ издержек и результативности (cost-effectiveness analysis, CEA); – анализ издержек и полезности (cost-utility analysis, CUA); – анализ издержек и взвешенной результативности (weighted cost effectiveness analysis, WCEA); • методы анализа совокупного экономического эффекта (включая модели межотраслевого баланса «затраты-выпуск»); • методы мультикритериального анализа (в т.ч. метод анализа иерархий Т. Саати и др.).

экономический рост [18]. Клаудиа Берг, Уве Дайкман, Ишен Лиу, Хэррис Селод (*Claudia N. Berg, Uwe Deichmann, Yishen Liu, Harris Selod*) отмечают роль государства и проводимой им политики в достижении соответствующих экономических показателей. Исходя из анализа мировой практики реализации транспортной политики, представляется возможным выделить следующие три основных инструмента транспортной политики в экономической плоскости:

- Инвестиции в инфраструктуру.
- Финансовое регулирование (субсидии, налоги и т.д.).
- Нормативно-правовое регулирование.

Инвестиции: прямым образом влияют на экономическое развитие уже на этапе строительства инфраструктуры за счёт приращения выпуска продукции из других отраслей (модели межотраслевого баланса (МОБ) и другие [19; 20]). Как правило, инвестиции в транспортную инфраструктуру сокращают транспортные издержки, повышают доступность транспортных услуг для населения, грузовладельцев и государства, способствуют пространственному и промышленному развитию.

Финансовое регулирование: включает в себя субсидии или налоги, которые оказывают влияние на выбор вида транспорта и на поведение потребителей (например, снижение тарифов для отдельных групп населения или перевозчиков, платы за проезд, платы за парковку, топливные сборы и субсидии на экологически чистый транспорт).

Нормативно-правовое регулирование: включает в себя нормативные акты прямого действия (например, установление экологических требований к подвижному составу, регламентация использования систем контроля режима сна и отдыха, ввод в действие систем контроля подвижного состава перевозчиков («Платон», весогабаритный контроль)), акты, регулирующие модели рынка (дерегулирование, приватизация, национализация) или организацию работы отдельного сектора отрасли (например, регулирование рынка такси или автобусных перевозок), а также акты, регулирующие строительство инфраструктуры.

Отдельные мероприятия транспортной политики направлены на стимулирование





Рис. 2. Логика реализации транспортной политики [разработано автором].

предложения на рынке транспортных услуг (например, инвестиции в инфраструктуру), в то время как другие ориентированы на спрос – например, субсидирование перевозок.

Проекция экономических аспектов транспортной политики на государственную политику приводит к следующим эффектам:

1) Стимулирование роста (например, за счёт снижения транспортных издержек, что облегчает агломерационный эффект, стимулирует торговлю и структурные изменения, ведёт к повышению производительности).

2) Облегчение доступа к социальной инфраструктуре (например, за счёт улучшения доступа к транспортным услугам для населения, в том числе для сельского и социально незащищённых слоёв).

3) Экологические факторы (например, за счёт сокращения негативного влияния транспорта на окружающую среду).

С учётом изложенного возможно построить процессную диаграмму схемы реализации

инструментов транспортной политики с учётом её экономических аспектов (рис. 2).

Соблюдение представленной логики позволяет наглядно проследить взаимосвязь инструментария транспортной политики, описанного выше, его воздействие на субъекты политики, провести мониторинг целевых изменяемых показателей, оценить последствия реализации на экзогенные факторы (торговля, промышленность) и эндогенные (объём транспортной работы), а также провести анализ результатов в виде достижения целевых темпов экономического роста, наличия социальных эффектов и снижения негативного экологического воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Транспортная политика государства формируется с учётом многочисленных факторов: социальных, экономических, экологических, технологических, политических и др. Результаты проведённого исследования, предложен-

ные определения и концептуальные подходы предлагают вариант структурного представления данных факторов с целью обоснования методологии принятия решений в транспортной политике, идентификации и систематизации её экономических аспектов.

На базе данного структурного представления возможно дальнейшее формирование теоретической базы для изучения транспортной политики Российской Федерации, особенностей её формирования на примере конкретных механизмов и законодательства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Голиусов Ю. Ф. Приоритеты российской транспортной политики // *Власть*. – 2009. – № 6. – С. 58–60. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12786632>. Доступ 17.01.2022.
2. Мишина Н. В. Транспортная политика как отраслевая подсистема политического управления // *Государственное и муниципальное управление. Учёные записки СКАГС*. – 2011. – № 2. – С. 139–144. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19029660>. Доступ 17.01.2022.
3. Соколов М. Ю. «Безопасные и качественные дороги» – приоритетный проект транспортной политики // *Транспорт Российской Федерации*. – 2016. – № 5 (66). – С. 3–6. [Электронный ресурс]: <http://rostransport.com/transportrf/download.php?src=/transportrf/pdf/66/1994-831X-2016-5-3-6.pdf>. Доступ 17.01.2022.
4. Горбачёв Т. В. Экономические аспекты стратегического управления транспортным комплексом // *Мир транспорта*. – 2016. – № 4. – С. 106–115. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1986>. Доступ 17.01.2022.
5. Хегай Ю. А. Зарубежный опыт транспортной политики // *Теория и практика общественного развития*. – 2013. – № 8. – С. 350–352. [Электронный ресурс]: http://teoria-practica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2013/8/ekonomika/khegay.pdf. Доступ 17.01.2022.
6. Цыганов В. В., Бородин В. А., Лемешкова А. В. Концепция сетецентричной транспортной политики в Евразии // *ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2018. – № 4 (8). – С. 45–49. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36422821>. Доступ 17.01.2022.
7. Шелистов Ю. И., Лавищенко В. Ю. Транспортная политика ЕС: логика становления, институциональная структура // *Вестник Московского университета*. – Серия 12. Политические науки. – 2010. – № 6. – С. 84–94. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15607153>. Доступ 17.01.2022.
8. Медведков М. Ю. Присоединение России к ВТО и её транспортная политика // *Транспорт Российской Федерации*. – 2006. – № 1 (2). – С. 17. [Электронный ресурс]: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/2/06.pdf>. Доступ 17.01.2022.
9. Карасёв О. И., Кривцова А. О. Факторы эффективности транспортной политики города // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Эконо-

мика и управление. – 2019. – № 2. – С. 22–28. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37635251>. Доступ 17.01.2022.

10. Rodrigue, J.-P. *The Geography of Transport Systems*. 5th ed., Routledge, 2020, 480 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>.

11. Docherty, I., Shaw, J. Governance, Transport. In: Kitchin, R., Thrift, N. (eds.). *International Encyclopedia of Human Geography*. Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 615–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.01033-6>.

12. Vickerman, R. Beyond cost-benefit analysis: the search for a comprehensive evaluation of transport investment. *Research in Transportation Economics*, 2017, Vol. 63, pp. 5–12, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.04.003>.

13. Транспортная инфраструктура и экономический рост // Доклад Центра экономики инфраструктуры. Науч. рук. П. А. Чистяков, П. А. Лавриненко. – М.: Перо, 2019. – 142 с. [Электронный ресурс]: <http://infraecconomy.com/tprost/m9cu36th1-transportnaya-infrastruktura-i-ekonomich>. Доступ 17.01.2022.

14. Ефимова О. В., Бабошин Е. Б., Загурская С. Г. Трансформация компетенций для устойчивого развития транспорта // *Экономика железных дорог*. – 2021. – № 12. – С. 43–53. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47393147>.

15. Бухвальд Е. М., Кольчугина А. В. Стратегия пространственного развития и приоритеты национальной безопасности Российской Федерации // *Экономика региона*. – 2019. – Т. 15. – № 3. – С. 631–643. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40380775>. Доступ 17.01.2022.

16. Зембатов М. Р. Оценка регулирующего воздействия в зарубежных странах: сравнительно-правовой анализ и перспективы Российской экономики // *Проблемы экономики и юридической практики*. – 2018. – № 5. – С. 37–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36457505>. Доступ 17.01.2022.

17. Donais, F. M., Abi-Zeid, I., Waygood, E. O. D., Lavoie, R. A review of cost–benefit analysis and multicriteria decision analysis from the perspective of sustainable transport in project evaluation. *EURO Journal on Decision Processes*, 2019, Vol. 7, Iss. 3–4, pp. 327–358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40070-019-00098-1>.

18. Berg, C. N., Deichmann, U., Liu Yishen, Selod, H. Transport Policies and Development. *The Journal of Development Studies*, 2017, Vol. 53, Iss. 4, pp. 465–480. DOI: <https://doi.org/10.1080/00220388.2016.1199857>.

19. Широ́в А. А., Янговский А. А. Межотраслевая макроэкономическая модель как ядро комплексных прогнозных расчётов // *Проблемы прогнозирования*. – 2014. – № 3 (144). – С. 18–31. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23378051>. Доступ 17.01.2022.

20. Замковой А. А., Ивантер В. В., Лещев М. В., Михайлов В. В., Пехтерев Ф. С., Попова Е. В., Узяков М. Н., Шестаков П. А., Широ́в А. А. Использование метода межотраслевого баланса для научного обоснования стратегического развития железнодорожной системы России. – М.: УП Принт, 2015. – 208 с. [Электронный ресурс]: <https://ecfor.ru/publication/mezhotraslevoj-balans-zheleznodorozhnaya-sistema/>. Доступ 17.01.2022. ●

Информация об авторе:

Карлов Артур Владимирович – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, karlov@edu.rut-miit.ru.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022, одобрена после рецензирования 11.02.2022, принята к публикации 18.02.2022.





НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «БЕЗОПАСНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ДОРОГИ»: В 2021 ГОДУ В РОССИИ ОТРЕМОНТИРОВАЛИ 16,5 ТЫС. КМ ДОРОГ

В 2021 году в России отремонтировали 16,5 тыс. км дорог. В программу федерального проекта «Региональная и местная дорожная сеть» вошло более 6 тыс. объектов. К концу года уложено порядка 141 млн кв. м дорожного покрытия в пределах городских агломераций, а также на автомобильных дорогах регионального значения.

В целях повышения уровня экономической связанности территорий страны и в рамках нового федерального проекта – «Развитие федеральной магистральной сети» в программу работ вошли 250 км федеральных трасс.

При формировании перечня объектов, которые должны быть отремонтированы в первую очередь, учитывалось мнение местных жителей, техническое состояние участков и их социальная значимость.

Срок службы новых и обновлённых дорожных участков напрямую зависит от качества работ. В 2021 году более 71,3 % всех контрактов по нацпроекту предусматривали использование современных технологий. Доля контрактов на принципах жизненного цикла составила 31,2 %.

Безопасность участников дорожного движения – важнейшая составляющая нацпроекта. В 2021 году в программу нацпроекта включены мероприятия по установке более 226 тыс. новых дорожных знаков, свыше 3,1 тыс. светофоров и 1481 тыс. погонных метров стационарного освещения, обустройству порядка 1 755 тыс. п. м барьерного и 290 тыс. п. м пешеходного ограждения, нанесению более 28,6 млн п. м разметки, а также по устройству более 1,6 млн п. м тротуаров.

Обеспечение сохранности существующих дорог – задача не менее важная, чем строительство новых. По словам специалистов, одним из самых разрушительных для дорожного покрытия факторов является высокая нагрузка на поверхность трассы. В рамках реализации федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» на региональных трассах до конца года



планировалось установить 197 автоматических пунктов весогабаритного контроля, способных автоматически взвешивать и определять размеры транспортного средства без его торможения или полной остановки, вычислять скорость движения машины и проводить фотофиксацию.

Ещё одной важной социальной задачей нацпроекта является обновление пассажирского общественного транспорта. Федеральная поддержка осуществляется с применением механизма лизинга, а именно путём предоставления перевозчикам права приобретения транспортных средств со скидкой 60 % от их стоимости. 14 отобранных на конкурсной основе городских агломераций в 2021 году получили 477 новых транспортных средств – 324 автобуса и 153 троллейбуса.

Дорожный национальный проект ориентирован на достижение национальной цели «Комфортная и безопасная среда для жизни». Основной целевой показатель проекта – обеспечение доли дорожной сети в крупнейших городских агломерациях, соответствующей нормативным требованиям, на уровне не менее 85 % к 2024 году.

По сообщению пресс-центра
Министерства транспорта Российской
Федерации: [https://mintrans.gov.ru/
press-center/news/10148](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10148) ●



Процессный подход – основа цифровых трансформаций в транспортно-логистическом бизнесе



Ольга ЕФИМОВА



Сергей ПИНЧУК

*Ольга Владимировна Ефимова¹,
Сергей Сергеевич Пинчук²*

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

✉ ¹ s.s.pinchuk@miit.ru.

АННОТАЦИЯ

Процессное управление повышает уровень технологического развития транспортного комплекса, служит основой цифровизации пассажирских и грузовых перевозок, снижает издержки, повышает надёжность, безопасность инфраструктуры и транспортных средств, а также экологичность транспорта.

Цифровые технологии предоставляют возможность реструктурировать производственные системы всех отраслей экономики, чтобы улучшить взаимодействие с клиентами, сотрудниками и партнёрами по экосистеме, а также снизить затраты.

Для построения новой операционной модели необходимо выявить потери в действующих процессах и воспользоваться возможностями цифровой трансформации.

В статье рассмотрены основные методические разрывы трансформации процессной архитектуры компаний с учётом особенностей крупных структур холдингового типа. Цель исследования – определить направления трансформации процессной архитектуры транспортных компаний.

В статье предлагается оценивать уровень цифровой зрелости процессов на основе отклонения двух её показателей – уровня автоматизации и уровня цифрового доверия – от целевых значений.

Необходимость в систематизации методических аспектов перехода к процессному типу управления в транспортных компаниях посредством реинжиниринга бизнес-процессов определяют актуальность адаптации прикладного инструментария и методики его применения.

Ключевые слова: транспорт, цифровые трансформации, бизнес-архитектура, метрики технологической прогрессивности процессов.

Для цитирования: Ефимова О. В., Пинчук С. С. Процессный подход – основа цифровых трансформаций в транспортно-логистическом бизнесе // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-8>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В транспортной отрасли получило широкое распространение процессное управление, которое способствует внедрению новых технологий, в целом служит эффективной основой повышения технологичности транспортных процессов, а также содействует снижению издержек, повышению надёжности, экологичности и устойчивости работы транспортного комплекса. Процессный подход создаёт благоприятную среду и для цифровизации деятельности транспорта, пассажирских и грузовых перевозок, содержания и развития инфраструктуры. В свою очередь, цифровые технологии позволяют реструктурировать и при необходимости модернизировать производственные связи, усилить клиентоориентированность, эффективность взаимодействия с партнёрами и работниками, то есть всеми участниками транспортной экосистемы. Таким образом, прослеживается очевидная взаимосвязь процессного управления и цифровых трансформационных процессов, в силу их взаимного влияния создаются предпосылки для формирования новой операционной модели. Однако для её эффективного развития необходимо выявить недостатки и потери в действующих процессах и действительно использовать потенциал цифровой трансформации. Для этого необходимо рассмотреть ключевые методические разрывы, происходящие в процессе реструктуризации процессной архитектуры транспортных компаний, которые носят особенно принципиальный характер в компаниях холдингового типа.

Цель исследования – определить направления трансформации процессной архитектуры транспортных компаний.

Основные *методы*, применяемые в исследовании, – синтез и декомпозиция понятийного аппарата, анализ создания добавочной стоимости в процессах транспортной компании, динамическое моделирование параметров процессов, анализ избыточных элементов и узких мест бизнес-архитектуры транспортной компании.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Бизнес-архитектура: понятие и ценность

Бизнес-архитектура (ЕВА – Enterprise Business Architecture) является областью управленческой деятельности, которая опирается на миссию и систему целей организации, критические факторы успеха, бизнес-

стратегии, описание функций, а также на структуры и процессы, необходимые для реализации функций. Архитектура бизнес-процессов определяется основными функциями организации и может меняться под влиянием изменений внешней среды, а также в результате адаптации к новым технологиям и продуктам компании.

«Построение бизнес-архитектуры предприятия на верхнем уровне подразумевает анализ основных функций (цепочек) создания добавленной стоимости (*Value Landscape Analysis*), модели бизнес-сценариев (*Business Scenario Models*), анализ информационных связей и процессов (*Information Value Chain Analysis*)» [1].

Системная основа бизнес-архитектуры предприятия включает: декомпозицию функций и процессов (*Function/Process Decomposition*), анализ бизнес-событий (*Business Event Analysis*), модель расположения (*Location Model*), модель интеграции (*Integration Model*).

В настоящее время существуют различные методики описания бизнес-архитектуры предприятия. Джон Захман (*John A. Zachman*) создал таблицу для моделирования архитектуры, получившую признание под именем *Zachman Framework*¹, которая вполне применима к анализу и трансформации процессной архитектуры транспортной компании [2]. Впервые таблица была предложена в 1987 году, во второй редакции она появилась в 1992 году. Для удобства описания Захман предложил так называемую «Модель архитектуры предприятия» (*Zachman Framework for Enterprise Architecture*). Модель ориентирована на достижение двух основных целей – с одной стороны, логически декомпозировать описание архитектуры бизнеса на отдельные разделы для упрощения их формирования и восприятия, с другой – обеспечить возможность рассмотрения целостной архитектуры с позиций ценности отдельных компонент бизнеса. В таблицы Захмана входят:

- используемые данные;
- процессы и функции;
- места выполнения процессов;
- участники выполнения процессов;

¹ Zachman, J. A. The Framework for Enterprise Architecture: Background, Description and Utility by: John A. Zachman. [Электронный ресурс]: <https://www.zachman.com/resources/ea-articles-reference/327-the-framework-for-enterprise-architecture-background-description-and-utility-by-john-a-zachman>. Доступ 25.12.2021.

- управляющие события;
- цели и ограничения, определяющие работу системы.

Исторически модель Захмана впервые была создана именно для ИТ-систем и до настоящего времени остаётся важным инструментом проектирования, анализа и трансформации бизнес-архитектур. Имеются несколько её модификаций, созданных другими исследователями.

Широкое распространение получила методика описания архитектуры TOGAF (сокращение от *The Open Group Architecture Framework*). В состав модели TOGAF в качестве основной компоненты входит методика ADM (*Architecture Development Method*), определяющая процесс разработки архитектуры, состоящий из нескольких фаз:

- фаза А: определение границ проекта, разработка общего представления (*Vision*) архитектуры; утверждение плана работ и общего подхода руководства к его реализации;
- фаза В: разработка бизнес-архитектуры предприятия;
- фаза С: разработка архитектуры данных и архитектуры приложений;
- фаза D: разработка технологической архитектуры;
- фаза Е: проверка возможности реализации предложенных решений;
- фаза F: планирование перехода к новой системе;
- фаза G: формирование системы управления преобразованиями;
- фаза Н: управление изменением архитектуры.

Архитектурные принципы представляют собой фундаментальные основы, которые используются в качестве «отправных точек» как для оценки существующей системы процессного управления, так и для разработки отдельных решений в области цифровых трансформаций бизнеса. Применение архитектурного подхода позволяет достичь следующих ценностей трансформации бизнеса: согласованности трансформаций ИТ- и бизнес-модели, контролируемости изменений, создания качественной документации по изменениям в технологии, стандартизации операций, полноты таксономии.

После того как модели архитектуры созданы, на их основе можно выполнять различные, основанные на дифференцированных методах, виды анализа, которые могут включать:

- анализ цепочек создания добавочной стоимости;

- динамическое моделирование;
- анализ пересечений, избыточных элементов и узких мест бизнес-архитектуры (*Gap-overlap analysis*);

- соотнесение затрат по бизнес-процессу с потенциальными притоками (*Activity-based costing*);

- анализ стоимости владения процессом;
- оценку возврата инвестиций.

Такие модели обычно имеют прямой выход на процесс генерации архитектуры приложений, как это предполагается в подходе к разработке архитектуры, управляемой моделями бизнес-процессов.

Сравнение бизнес-процессов и процессов цифровых трансформаций

Цифровая трансформация относится не к отдельным процессам, а к работе организации в целом. Это изменение стратегии развития, бизнес-модели (модели ведения бизнеса) и бизнес-архитектуры, линейки продуктов (услуг) и каналов продаж, корпоративной культуры на основе передовых технологических решений и цифровизации. Процессы цифровизации – это не процессы по управлению ИТ-инфраструктурой организации, а все процессы организации (в широком смысле), которые выполняются полностью в автоматическом режиме, либо у которых уровень автоматизации составляет более 80 %. Сюда входят процессы по реализации продуктов и услуг, обеспечивающие и управляющие процессы (табл. 1).

Важнейшим фактором эффективности цифровых трансформаций является устранение потерь дублирования обработки информационных потоков, генерируемых различными информационными системами.

Для устранения этих потерь цифровые платформы становятся предпочтительной и доминирующей бизнес-моделью для многих отраслей, включая транспортный сектор экономики. В транспортной отрасли конкуренция со стороны различных видов транспорта ведёт к изменению традиционной цепочки создания ценности перевозки грузов и пассажиров. Кроме того, становится труднее продвигать традиционные продукты и услуги перевозки, не дополненные работами, обеспечивающими полный цикл перевозочного процесса с использованием различных видов транспорта и с включением услуг страхования, хранения, перевалки и т.п. Современный транспортный рынок создаёт всё более сложные и более дорогие операционные модели. Следо-



Таблица 1

Элементы моделей процессов: сходства и различия [составлено авторами]

№	Элементы	Бизнес-процессы	Процессы цифровизации
1	Источники информации для разработки моделей процессов	Интервью сотрудников (исполнителей). Карты потока создания ценности. Технологическая документация	Изучение IT-архитектуры компании, документация по производственным автоматизированным системам
2	Нотации для графического описания процессов	IDEFO, Cross Functional Flow Chart, EPC (event-driven process chain)	BPMN (business process model and notation), ArchiMate, UML (unified modeling language)
3	Управление	У каждого процесса есть владелец и процессная команда (рабочая группа)	Один владелец и одна команда по управлению цифровыми трансформациями управляют реинжинирингом большой группы операционных процессов
4	Документация	Детальные регламенты и инструкции для сотрудников по выполнению процессов	Технические задания по цифровизации процессов
5	Бизнес-архитектура компании	Не требуется, или только фрагменты	Требуется в масштабе всей компании
6	Информационные потоки	Преимущественно бумажные документы по процессам	Все информационные потоки реализованы в цифровом формате
7	Качество и эффективность процессов	Достигается за счёт обучения и мотивации исполнителей (сотрудников), контроля исполнения регламентов	Достигается за счёт управления рисками и стандартизации всех компонентов IT-архитектуры
8	Внутренние показатели процессов	Определяются использованием оптимальной численности персонала (исполнителей)	Уровень автоматизации и уровень обработки информации сквозных процессов без дублирования
9	Функционально-стоимостной анализ процессов	Смета затрат на реализацию процесса. Основные результаты процесса.	Расходы на поддержание цифрового сервиса

вательно, многие ведущие компании переходят от товарной ориентации к ориентации на клиента, уделяя особое внимание обеспечению дифференцированного обслуживания клиентов на целевых рынках [4; 5].

Ещё один важный фактор – изменение поведения клиентов. Клиенты, выбирая поставщика транспортно-логистических услуг, ориентируются на возможности цифровых платформ. Следовательно, транспортные компании должны позиционировать себя как цифровой сервис, удобный клиентам, и создавать соответствующую стратегию цифровой трансформации, обеспечивающую предложения по улучшению обслуживания клиентов и достижение стратегических целей.

Цифровые платформы, формируя партнёрство с различными компаниями, создают экосистему, которая объединяет потребителей и поставщиков транспортно-логистических услуг, а также других участников транспортного рынка. Ценность эффективного взаимоотношения на основе цифровой платформы возрастает при увеличении числа участников.

Для формализованного описания бизнес-процессов и процессов цифровых трансформаций можно использовать стандартные инстру-

менты бизнес-моделирования Microsoft Visio и Excel, Business Studio, отечественный продукт SILA. Они позволяют анализировать основные (продуктовые), обеспечивающие и управляющие процессы, а также выполнять их реинжиниринг, перераспределяя нагрузку между процессами и обеспечивая отказ от лишних, дублирующих процессов в связи с цифровой трансформацией.

Метрики технологической прогрессивности процессов

Развитие процессной архитектуры и её соответствие современному уровню бизнеса и турбулентности окружающей цифровой среды предлагается связать с показателями технологической прогрессивности процессов. *Технологической прогрессивностью* предлагается назвать соответствие процессной архитектуры предприятия основным векторам развития транспортных систем, в Российской Федерации к ним по праву относятся такие приоритеты Транспортной стратегии России²,

² Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>. Доступ 25.12.2021.

как цифровая трансформация транспортной отрасли и снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду.

Реализацию цифровой трансформации в процессах транспортных компаний предлагается оценивать на основе соответствия цифровой зрелости процессов эталонному уровню, что можно измерять следующими метриками:

- уровень автоматизации процессов;
- степень цифрового доверия.

Наиболее простым способом расчёта уровня автоматизации процессов является оценка количества операций процесса, выполняющихся с помощью ИТ-систем, по отношению к общему количеству операций в процессе.

Более точный анализ можно произвести, сформировав шкалу оценки в баллах отклонений автоматизации реализации процесса от целевого значения. Для каждой технологии реализации процесса в этом случае необходимо задать величину балльной оценки в диапазоне от «0 баллов» (процесс или подпроцесс выполняется вручную) до «5 баллов» (полностью автоматизированное выполнение). Целевое значение в данном исследовании определено на уровне зрелости – «5 баллов».

Если процесс состоит из N подпроцессов, то среднее значение уровня автоматизации (s_k) k -го процесса определяется по формуле с учётом их равной значимости:

$$s_k = \frac{1}{N} \sum_i (5 - F_i^k), \quad (1)$$

где F_i^k – балльная оценка уровня автоматизации i -го процесса.

Именно по величине отклонения предлагается прежде всего оценивать соответствие уровня автоматизации процесса от целевого значения.

Для определения уровня автоматизации также может использоваться метрика отношения объёма автоматически обработанной информации или документов к общему объёму обработанной информации или документов за период, а также отношение количества транзакций по процессу, выполненных полностью автоматически, к общему количеству транзакций или экземпляров процесса за период.

В режим автоматического выполнения процесса может потребоваться вмешательство специалиста в связи с неформатным вводом входных данных от клиента, работо-

способностью цифровых сервисов, другими видами операционных рисков.

Одним из наиболее актуальных вопросов, связанных с такой цифровизацией процессов при развитии процессной архитектуры, является создание цифровой среды доверия, которая выражается в наличии определённых принципов, таких как безопасность и защита данных, их конфиденциальность. Можно сказать, что это также выражается в уверенности пользователей в безопасности персональных данных, которые хранятся на тех или иных цифровых платформах [6].

Для количественного определения уровня цифрового доверия может быть также использован подход по отклонениям от целевого уровня, отражённый в формуле (1). В данном случае целевое состояние может отражать «5 баллов» – полное цифровое доверие.

Основными мерами по обеспечению доверия к цифровым сервисам являются:

- разработка мер кибербезопасности для предотвращения возможности взломов информационных систем и каналов передачи данных и различных преступных действий;
- повышение качества тестирования цифровых платформ и приложений;
- пропаганда возможностей использования цифровых технологий;
- повышение уровня правовой культуры клиентов и поставщиков транспортно-логистических услуг;
- расширение возможности применения Интернет-технологий;
- развитие систем искусственного интеллекта и цифровизации.

Данные меры уже в полной мере применяются и имеют самые широкие перспективы для дальнейшего развития в деятельности транспортно-логистических компаний [7–9].

Экологические и общесистемные факторы

Важнейшим фактором, влияющим на выбор процесса для трансформации, а также для собственно трансформации процессной архитектуры транспортной компании, является соответствие целям устойчивого развития ООН.

Транспортно-логистические компании России всё больше вовлекаются в реализацию мероприятий по снижению выбросов



парниковых газов, а также расширяют зону оценки ключевых количественных показателей углеродной нейтральности грузовой перевозки³. Данный аспект стал одним из ведущих в деятельности российских и зарубежных транспортно-логистических компаний, предметом многочисленных научных исследований [10–13].

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Проведённое сравнение элементов бизнес-процессов и процессов цифровизации, позволив классифицировать различия между ними, не нивелирует вывод о взаимовлиянии этих двух типов процессов, более того, даёт возможность говорить об их синергетическом эффекте. Исходя из этого, результатом исследования стала разработка предложений по введению в научный оборот двух метрик соответствия цифровой зрелости процессов эталонному уровню (уровень автоматизации процессов и степень цифрового доверия).

Количественная оценка всех метрик технологической прогрессивности процессов транспортно-логистического бизнеса позволит обоснованно подойти к цифровым трансформациям, повысить их эффективность и трансформировать процессную архитектуру транспортных компаний.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коптелов А. Принципы управления архитектурой предприятия // Проблемы теории и практики управления. – 2010. – № 1. – С. 109–116. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13007022>. Доступ 25.12.2021.
2. Gerber, A. J., le Roux, P., Kearney, C., van der Merwe, A. The Zachman Framework for Enterprise Architecture: An Explanatory IS Theory. In: Hattingh, M., Matthee, M., Smuts, H., Pappas, I., Dwivedi, Y., Mäntymäki, M. (eds). Responsible Design, Implementation and Use of Information and Communication Technology. I3E 2020. Lecture Notes in Computer Science, 2020, Vol 12066. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5_32.
3. Визер А. Н., Клоков С. А. Анализ современных подходов в архитектуре предприятий // Молодой учёный. – 2021. – № 2 (344). – С. 9–12. [Электронный ре-

³ Экологический меморандум ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <https://cargolk.rzd.ru/eo>. Доступ 25.12.2021.

сурс]: <https://moluch.ru/archive/344/77384/>. Доступ 25.12.2021.

4. Davis, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly, 1989, Vol. 13 (3), pp. 319–340. DOI: 10.2307/249008.
5. Григорьев М. Н., Максимцев И. А., Уваров С. А. Цифровые платформы как ресурс повышения конкурентоспособности цепей поставок // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2017. – № 2. – С. 7–11. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32826431>. Доступ 25.12.2021.
6. Нурмухаматов Р. К., Торин С. С. Цифровое доверие (digital trust): сущность и меры по его повышению // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2020. – № 1. – С. 32–38. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42653346>. Доступ 25.12.2021.
7. Бубнова Г. В., Лёвин Б. А. Цифровая логистика – инновационный механизм развития и эффективного функционирования транспортно-логистических систем и комплексов // International journal of open information technologies. – 2017. – № 3. – С. 72–78. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28426696>. Доступ 23.11.2021.
8. Evseev, O. V., Murashov, V. V., Zaboev, A. I., Zemtsov, A. A. Transport and economic balance and its role in the coordination of transport planning during the digitalization era. Modern Information Technologies and IT-Education, 2018, Vol. 14, No. 3, pp. 717–726. DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.717-726. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37031853>. Доступ 23.11.2021.
9. Соколов Ю. И., Ефимова О. В., Лавров И. М. Экономическое обоснование создания интегрированного информационного пространства взаимодействия транспортных компаний и клиентов: Монография. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 100 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37001986>. Доступ 17.10.2021.
10. Dong, C., Boute, R., McKinnon, A., Verelst, M. Investigating synchromodality from a supply chain perspective. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018, Vol. 61, Part A, pp. 42–57. DOI: doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.011.
11. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. 3d ed. Ed. by A. McKinnon, M. Browne, A. Whiteing, M. Piecyk. Kogan Page Limited, 2015, 426 p. [Электронный ресурс]: https://books.google.ru/books?id=E9BuBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbv_atb#v=onepage&q&q&f=false. Доступ 25.12.2021.
12. Kumar, A. Green Logistics for sustainable development: an analytical review. IOSRD International Journal of Business, 2015, Vol. 1, Iss. 1, pp. 7–13. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/330422673_Green_Logistics_for_sustainable_development_an_analytical_review. Доступ 22.12.2021.
13. Осинцев Н. А. Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике // Мир транспорта // 2021. – Т. 19. – № 5. – С. 105–114. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>.

Информация об авторах:

Ефимова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики, организации производства и менеджмента, заместитель директора по науке Института экономики и финансов, организатор обучения по программе MBA Российского университета транспорта, Москва, Россия, ovefimova@mail.ru.

Пинчук Сергей Сергеевич – начальник Планово-финансового управления Российского университета транспорта, Москва, Россия, s.s.pinchuk@miit.ru.

Статья поступила в редакцию 24.11.2021, одобрена после рецензирования 17.01.2022, принята к публикации 20.01.2022.



ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ 74

Перспективы применения ИИ на транспорте и в транспортном строительстве: инженерные и образовательные составляющие. Оценки и выбор лучших методов обучения.

ДОРОЖНОЕ ПОЛОТНО 81

Дискуссия о методике расчёта нагрузки и конкретные предложения применительно к реализуемому в Якутске проекту.



ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЕ 96

Актуальность проблемы требует нового обсуждения. Первая часть статьи посвящена анализу различных аспектов практики планирования и обобщению возможных предложений по оптимальному составообразованию и организации пропуска поездов.





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.095.4:004.8:378

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>

Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты



Борис ЛЁВИН



Александр ПИСКУНОВ



Владимир ПОЛЯКОВ



Александр САВИН

*Борис Алексеевич Лёвин¹, Александр Алексеевич Пискунов²,
Владимир Юрьевич Поляков³, Александр Владимирович Савин⁴*

^{1, 2, 3, 4} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ³ pyu55@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье, обобщающей исследования авторов, результаты которых как опубликованы, так и подготовлены для печати, рассматривается текущая ситуация с развитием представлений об искусственном интеллекте, анализируются возможности применения существующего на данном этапе искусственного интеллекта в проектировании объектов транспортной инфраструктуры и инженерном образовании.

Дано описание общей методологии и алгоритма применения искусственного интеллекта при проектировании объектов транспортной инфраструктуры с учётом синтеза конструкции с заданными параметрами поведения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерное образование, транспорт, транспортное образование, междисциплинарный подход, методы поддержки принятия решений.

Показана взаимосвязь решаемых пользователями инженерных задач и внедрения компетенций в области искусственного интеллекта в образовательный процесс при подготовке специалистов транспортного комплекса, приведены примеры выполнения студентами практически ориентированных заданий.

Продемонстрированы возможности междисциплинарного подхода в обучении, который позволяет наглядно показать обучаемым необходимость комплексного рассмотрения задач проектирования.

Экспериментальное обучение показало реальность и результативность применения искусственного интеллекта студентами при решении обучающих и практических задач.

Для цитирования: Лёвин Б. А., Пискунов А. А., Поляков В. Ю., Савин А. В. Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>.

**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

Практическое применение методов искусственного интеллекта (ИИ) в инженерном деле, несмотря на реально достигнутые успехи и множество реализуемых в транспортной отрасли проектов практического плана, находится с исторической точки зрения на начальном этапе, в первую очередь если давать оценку, исходя из степени реализации его потенциала.

Сегодня ИИ используется в большом числе отраслей экономики. Широкое применение ИИ находит на транспорте: например, для управления дорожным движением и парковочными пространствами крупных городов, обработки данных пользователей платных автодорог, при реализации комплексных логистических процессов. При этом особенное значение ИИ приобретает при проектировании сложных технических систем, успешность которого во многом обуславливается применением методов поддержки принятия решений [1], необходимых, в том числе для анализа больших данных, решения междисциплинарных и иных проблем повышенной сложности.

Сегодня различают так называемый «сильный» и «слабый» ИИ [2]. «Сильный» ИИ с человекоподобными мыслительными процессами, согласно опросу специалистов в области ИИ [3], вряд ли появится в ближайшие 75–100 лет, хотя многие вообще сомневаются в его появлении. Причиной скепсиса является фундаментальная невозможность воспроизведения психических процессов (мышления) на компьютерах [4]. Интеллект предполагает операции не с лишёнными конкретного содержания формальными символами, а с понятиями и смыслами. В силу этого отсутствие сознания у ИИ на современном этапе делает сильный ИИ пока недостижимой целью.

Существующий сегодня «слабый» ИИ [5] может решать достаточно сложные задачи в узкоспециализированной области [6]. Такой ИИ не является «сильным», он не может решать разнообразные задачи, которые ставит сама жизнь, подобно человеку – урегулировать производственные проблемы, водить автомобиль, делать выбор в магазине и т.п.

Вместе с тем продвижение по пути внедрения технологий ИИ в экономике, в том числе, на транспорте, должно быть обеспе-

чено подготовкой специалистов, обладающих компетенциями по разработке, внедрению и применению технологий ИИ. Очевидно, что для высшего инженерного образования сегодня целью становится применение методологии «слабого» ИИ, задача которого – воссоздать с помощью вычислительных систем целенаправленные действия, совершаемые человеком.

Необходимо отметить, что в качестве инструмента познания ИИ достаточно широко применяется в различных отраслях науки: в теории принятия решений [2], оптимизации систем [1], обработке больших данных и машинного обучения [7; 8], нечёткой логике [9] и генетических алгоритмах [10].

Целью работы является подтверждение гипотезы о возможности реализации междисциплинарного подхода в обучении, который позволяет продемонстрировать обучаемым необходимость комплексного рассмотрения задач проектирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проблема применения ИИ при проектировании содержания обучения

Чему следует учить сегодня студентов на предмете «Искусственный интеллект»? Представляется, что целью обучения должно стать приобретение компетенций, позволяющих применять методологию ИИ в задачах, решение которых не подвластно человеческому интеллекту. При этом нужно предусматривать, чтобы обучающийся будущий инженер применял уже освоенные в рамках овладения своей специальностью знания и навыки с использованием системы поддержки принятия решений, которая сегодня относится к «слабому» ИИ. И «слабый» ИИ, не умеющий решать проблему от начала до конца, от формулировки задачи до выпуска проектной документации, хорошо подходит для этого. В точных науках накоплен огромный массив знаний в виде законов, представленных математическими выражениями в замкнутой форме, и, следовательно, возможно создание систем поддержки принятия решений на основе законов природы.

Ключевой тезис об обучении ИИ в высшем техническом образовании, в том числе транспортном, заключается в целесообразности включения человека в контур управления сложной системы, в которой ИИ будет играть роль действенной подсистемы под-



держки принятия решений, выявляя неочевидные зависимости и помогая таким образом принятию студентом содержательных решений в конкретной предметной области. Таким образом, учащийся приобретает навыки взаимодействия с ИИ. Целью предмета становится обучение методологии и применению ИИ, задачей которого является воссоздание с помощью вычислительных систем целенаправленных действий, осуществляемых осознающим законы природы человеком.

В Российском университете транспорта (РУТ (МИИТ)) разработана методология проектирования сооружений транспортной инфраструктуры, основанная на использовании ИИ, которая позволяет решать комплексные инженерные задачи. Сегодня выбор облика сооружения, его первоначальных параметров осуществляется на основе имеющегося опыта. Свод правил почти не даёт рекомендаций по назначению технических параметров, а только содержит методы проверки уже спроектированных/построенных сооружений. То есть, это не нормы проектирования, а нормы проверки назначенных параметров. Как только человек встретится с неизвестной ранее задачей, отсутствие опыта может привести к серьёзным ошибкам.

В нашей стране отсутствие опыта строительства высокоскоростных магистралей (ВСМ) является серьёзной проблемой. В мировой практике отсутствует опыт строительства целого класса тоннелей, и вариантное проектирование здесь столкнётся с большими трудностями. Наконец, опыт проектирования отсутствует у студентов. Необходимо внедрение подхода, основанного на синтезе конструкции с заданными параметрами поведения, отвечающего нормам и предотвращающего в определённом смысле неблагоприятные события [11]. При этом применяется не проверка принятого решения на соответствие нормативным документам, а осуществляется именно проектирование (синтез) конструкции в новых условиях, например, высокоскоростного движения.

Именно ИИ может оказать поддержку человеку в назначении проектных параметров. Участие ИИ становится критически важным в случае указанного отсутствия опыта проектирования в новых условиях.

Наконец, использование ИИ будет весьма продуктивным в эксплуатации сооружений. В этом случае постоянное дистанционное наблюдение за сооружением будет порождать огромный объём информации («большие данные»). Человеку достаточно сложно, а часто и невозможно, отследить и правильно интерпретировать изменения в состоянии сооружения, выявить риски на начальном этапе и предотвратить негативные последствия.

Согласно общепринятому алгоритму, процесс проектирования начинается с первичного назначения проектных параметров, изменяющихся в пространстве управляющими функциями. Первоначально эти функции могут задаваться произвольными и постоянными. Как ранее указывалось, с помощью математической модели поведения системы во времени [12] происходит переход в пространство состояний, где описывается поведение системы, а затем с помощью критериев производится оценка качества принятого решения в пространстве оценок [13]. При наличии возможности дальнейшего улучшения качества и/или при нарушении установленных ограничений на поведение системы производится коррекция управляющих функций и повторение процедуры.

Отметим ранее заявленные в [1; 12; 13] особенности. В описанном выше алгоритме ИИ проявляется в нескольких фрагментах [1]. Прежде всего, оценка качества конструкции непосредственно не вытекает из описания системы, между этими этапами действует сложная математическая модель. В данном случае это система обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных [12]. Кроме того, оценка опосредована функционалами качества (критериями) в форме двукратных интегралов [13]. Анализ тенденций в поведении системы и чувствительность этого поведения к изменению управления (проектных параметров) не поддаётся осмыслению человеческим интеллектом, поскольку требует ориентации в многомерном пространстве состояний, где описано поведение систем в тех или иных условиях. Необходимо фиксировать состояние системы через крайне малые интервалы времени. Это влечёт формирование массива больших данных, выявление закономерностей в которых стало теперь уже традиционной

Таблица 1

Основные параметры сталежелезобетонного пролётного строения [11]

Параметры пролётного строения	Прототип	Рекомендации ИИ
Общий вес пролётного строения, т	1985	1729
Стальная балка, т	240	195
Железобетонная плита, т	812	621
Изгибная жёсткость, МН•м ²	11,2•10 ⁵	6,45•10 ⁵
Максимальный прогиб под высокоскоростным поездом, мм	5,5	7,1
Максимальный динамический момент, МН•м	20,02	20,12

прерогативой ИИ. Так как направления изменений, будучи опосредованы сложными взаимосвязями и операциями, неочевидны, то выбор направления изменения управления (проектных параметров) в пространстве оценок для улучшения показателей системы и выполнения предписанных ограничений на взаимодействие также не подвластен человеку.

Так же очевидно, что многие вопросы должны решаться на основе междисциплинарного подхода, комплексно, в силу взаимодействия компонентов сложной системы, рассматриваемых в рамках разных дисциплин.

Это диктует, в том числе, и вектор развития компетенций у сегодняшних и будущих специалистов транспортного комплекса в сфере ИИ.

Результаты экспериментального обучения

В Российском университете транспорта разработана программа обучения по дисциплине «Искусственный интеллект в транспортном строительстве» для специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей». Её внедрению предшествовала экспериментальная проверка применения ИИ в процессе курсового и дипломного проектирования.

Рассмотрим процесс обучения студентов РУТ (МИИТ) взаимодействию с ИИ. Обычно студент использует для назначения параметров традиционной, хорошо известной конструкции изложенный в учебниках прежний опыт строительства. После выполнения многочисленных проверок конструкции на соответствие нормам и вследствие внесения многочисленных поправок полученная в результате конструкция оказывается далёкой от

оптимальной. Кроме того, студент в соответствии с нормами принимает модель нагрузки, не отражающую действительное взаимодействие, например, в такой сложной системе, как «мост-путь-поезд».

Напротив, с помощью ИИ, выступающей в данном случае системой поддержки принятия решений, обучающийся способен получить понимание реального взаимодействия в многокомпонентной системе. Студент таким образом овладевает новой компетенцией – системным видением инженерной деятельности. Это подразумевает осознанное представление о её целостности, многоаспектности, стадийности, междисциплинарных взаимосвязях.

Рассмотрим ряд конкретных примеров использования ИИ в учебном процессе (подробнее примеры изложены в ряде работ, например, в [14]).

В практическом плане, после того как преподаватель с использованием программного комплекса ИИ выдаёт рекомендации по изменению проектных параметров длины балки железнодорожного моста, студент (в данном случае обучающийся по специальности «Мосты») приступает к принятию конструктивных решений. Так как конструкция может быть оптимизирована по нескольким критериям одновременно [15], для простоты изложения в контексте статьи был выбран критерий минимума массы балки. Оптимизация происходит при строгом соблюдении технологических ограничений на параметры конструкции, ограничений на деформации балки, вертикальное ускорение в вагоне и других. Здесь также происходит освоение новых компетенций, порождаемых мультидисциплинарным аспектом и оценкой проектных решений по нескольким критериям, так как динамическое поведение конструкции



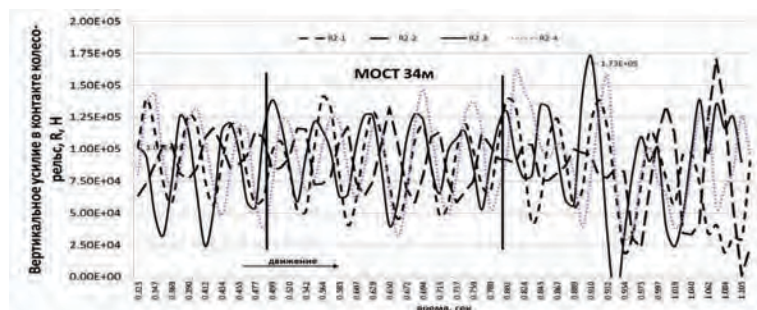


Рис. 1. Усилие в контакте колеса и рельса для второго вагона на скорости 350 км/ч. После прохода моста происходит отрыв колёс от рельса.

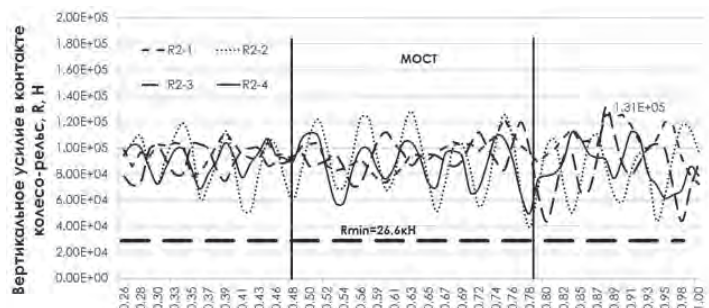


Рис. 2.. Усилие в контакте колеса и рельса после конструирования пути с системой поддержки принятия решений ИИ не падает ниже минимально допустимого значения 26,6 кН.

моста и вагона изучаются не только на разных специальностях, но и на разных направлениях подготовки (23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» и 08.00.00 «Техника и технологии строительства»).

В рассматриваемом примере помимо требования о минимизации массы конструкции было выдвинуто требование о неизменности максимума динамического изгибающего момента от высокоскоростного поезда, что было выполнено с приемлемой точностью. Было принято решение о конструктивной реализации управляющих функций, доставляющих минимум функционалу качества (суммарной массе пролётного строения) за счёт уменьшения толщины железобетонной плиты проезжей части и общей высоты стальной балки. Результаты работы приведены в табл. 1. При этом все проверки по своду правил были выполнены. Несмотря на увеличение прогиба до 7,1 мм он не превышает пределов, установленных нормами.

Другой студент выполнял проект железобетонного пролётного строения для ВСМ, преследуя в процессе оптимизации цель снижения материалоемкости. В этом случае ИИ рекомендовал балку с неоднородными свойствами, так как в процессе оптимизации прогиб балки превышал допустимый предел. Студент принял

решение об изменении высоты балки и толщины стенки для выполнения рекомендаций ИИ. Экономия железобетона в сравнении с прототипом (реальный проект) составила 58 м³.

Для студентов специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» применяется другая система критериев, соответствующая задачам, возлагаемым на мостовое полотно и верхнее строение пути. Система поддержки принятия решений на основе ИИ предложила вариант оптимального распределения жёсткости железнодорожного пути, обеспечивающего минимальное воздействие на щебёночный балласт и максимально равномерное для снижения расстройств по длине.

Одновременно было выдвинуто требование обеспечения безотрывного движения колеса по рельсу для предотвращения схода – требование безопасности (см., напр.: [16]). На рис. 1 приведены диаграммы вертикального усилия в контакте колёс и рельса одного из вагонов высокоскоростного поезда. После прохода моста, из-за колебаний балки, рельса и вагонов, происходит отрыв колеса, что недопустимо. ИИ предложила управляющую функцию, от которой зависит жёсткость пути. По этой функции можно подобрать жёсткость прокладок в промежуточном рельсовом скреп-

лении в соответствии с рекомендациями ИИ с помощью кусочно-линейной аппроксимации функции. В результате среднее значение нагрузки на шпалу снижено на 17 %, локальные перегрузки балласта снижены почти в два раза, а главное – выполнено ограничение по безопасности. Усилие в контакте за все время прохода через мост не только не показывает отрыв колеса, но и не падает менее минимально необходимого для обеспечения безопасности движения (рис. 2).

В приведённых примерах отчётливо видна роль ИИ в рекомендации неочевидных закономерностей, обусловленных сложным процессом взаимодействия и многоэтапными вычислительными процедурами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе приведённых результатов можно констатировать, что ИИ является востребованным инструментом проектирования новых конструкций или известных конструкций в новых условиях, а также обучения студентов технических университетов. Экспериментальное обучение показало реальность и результативность применения ИИ даже студентами. Разработана программа обучения студентов использованию ИИ в практической проектно-конструкторской деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Poliakov, V. The artificial intelligence and design of multibody systems with predicted dynamic behavior. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14. DOI: 10.46300/9106.2020.14.124.
2. Бруссард М. Искусственный интеллект: Пределы возможного / Пер. с англ. Е. Арьё. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019. – 362 с. ISBN 978-5-00139-080-0.
3. Bostrom, N. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press, 2014, 328 p.
4. Dreyfus, H. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. MIT Press, 1992, 408 p. DOI: 10.2307/1575958.
5. Jajal, T. D. Distinguishing between Narrow AI, General AI and Super AI. May 21, 2018. [Электронный ресурс]: <https://medium.com/mapping-out-2050/distinguishing-between-narrow-ai-general-ai-and-super-ai-a4bc44172e22>. Доступ 23.01.2022.

6. Oremus, W. Terrifyingly Convenient. *Slate*, April 3, 2016. [Электронный ресурс]: http://www.slate.com/articles/technology/cover_story/2016/04/alexa_cortana_and_siri_aren_t_novelties_anymore_they_re_our_terrifyingly.html?via=gdpr-consent. Доступ 23.01.2022.

7. Duan, Xinhua. Application of Deep Learning in Power Load Analysis. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 726–735. DOI:10.46300/9106.2020.14.92.

8. Huang, Wei. Power system Frequency Prediction after Disturbance Based on Deep Learning. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 716–725. DOI: 10.46300/9106.2020.14.91.

9. Zhu, Xiaoyong; Zhang, Hua. A Lean Green Implementation Evaluation Method Based on Fuzzy Analytic Net Process and Fuzzy Complex Proportional Assessment. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 646–655. DOI: 10.46300/9106.2020.14.83.

10. Ye, Tingting. Research on the Risk Crisis Prediction of Enterprise Finance by Genetic Algorithm. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2018, Vol. 12, pp. 319–324. [Электронный ресурс]: <https://www.naun.org/main/NAUN/circuitssystemssignal/2018/a922005-aes.pdf>. Доступ 23.01.2022.

11. Poliakov, V. Y., Saurin, V. V. Optimization of a composite beam for high-speed railroads. *Steel and Composite Structures*, 2020, Vol. 37, Iss. 4, pp. 493–501. DOI: 10.12989/scs.2020.37.4.493.

12. Поляков В. Ю. Численное моделирование взаимодействия подвижного состава с мостовыми конструкциями при высокоскоростном движении // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 2016. – № 2. – С. 54–60. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26700903>. Доступ 23.01.2022.

13. Поляков В. Ю. Синтез оптимальных пролётных строений для высокоскоростной магистрали // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 2016. – № 3. – С. 35–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26135687>. Доступ 23.01.2022.

14. Poliakov, V. Optimization Facilities for Bridges and Track on High Speed Railways. *Ingegneria Ferroviaria*, 2018, Vol. 73, No. 3, pp. 191–205. [Electronic resource (полный текст по запросу)]: URL: https://www.researchgate.net/publication/324924888_Optimization_facilities_for_bridges_and_track_on_high_speed_railways.

15. Поляков В. Ю. Парето-оптимальные пролётные строения для высокоскоростных магистралей // *Транспортное строительство*. – 2016. – № 6. – С. 21–24. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27451007>. Доступ 23.01.2022.

16. Поляков В. Ю. Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ // *Мир транспорта*. – 2017. – № 5. – С. 54–67. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1301>. Доступ 23.01.2022.

17. Лёвин Б. А., Пискунов А. А., Поляков В. Ю., Савин А. В. Искусственный интеллект в инженерном образовании // *Высшее образование в России* [готовится к выходу].

Информация об авторах:

Лёвин Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, президент Российского университета транспорта, Москва, Россия, lyevin@miit.ru.

Пискунов Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Поляков Владимир Юрьевич – доктор технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, pvu55@mail.ru.

Савин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, a.v.savin@miit.ru.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021, актуализирована 23.01.2022, одобрена после рецензирования 04.02.2022, принята к публикации 09.02.2022.





ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ

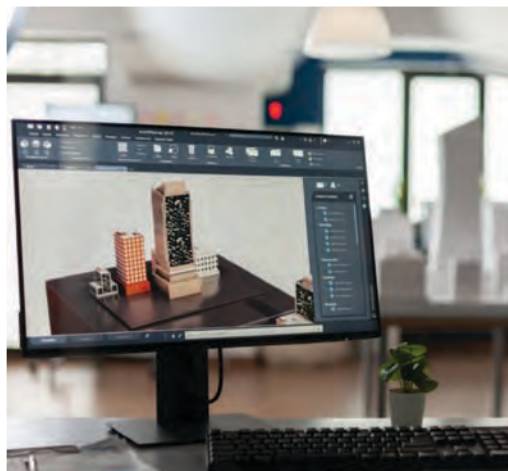
Правительство продолжает поддерживать внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в регионах. Такие решения позволяют автоматизировать процессы управления дорожным движением и, как результат, повысить безопасность на дорогах.

Всего в 2022 году на реализацию мероприятий по внедрению ИТС в регионы будет направлено 7,35 млрд рублей. Распределение средств утверждено в законе о федеральном бюджете. Об этом говорится в распоряжении, которое утвердило Правительство.

Соглашения о предоставлении трансфертов заключены с 42 регионами.

Работа по внедрению интеллектуальных транспортных систем ведётся в городских агломерациях с населением свыше 300 тысяч человек. Программа стала логичным дополнением к комплексному развитию дорожно-транспортной инфраструктуры. Из-за значительного роста трафика в городах потребовались новые решения для безопасности и комфорта людей.

За прошедший год благодаря федеральной поддержке в 24 регионах было создано или



модернизировано 15 центров управления дорожным движением, интегрировано 1350 детекторов транспортного потока, 630 камер видеонаблюдения, 460 умных светофоров и 70 умных остановок, а также 45 метеостанций.

По информации сайта
Правительства Российской Федерации:
<http://government.ru/news/44485/> ●

INTRODUCTION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN THE RUSSIAN REGIONS

The government continues to support the introduction of intelligent transport systems (ITS) in the regions. ITS make it possible to automate traffic management processes and, as a result, improve road safety.

In total, in 2022, 7,35 billion roubles will be allocated for the implementation of measures to introduce ITS in the regions. The distribution of funds is approved by the law on the federal budget. This is stated in the decree approved by the Government.

Agreements on the provision of transfers have been concluded with 42 regions.

Work on the adoption of intelligent transport systems is carried out in urban agglomerations with a population of over 300 thousand people.

The program has logically supported the integrated development of road and transport infrastructure. Due to the significant increase in traffic in cities, new solutions were required for the safety and comfort of people.

Over the past year, thanks to federal support, 15 traffic control centres were created or modernised in 24 regions, 1350 traffic flow detectors, 630 video surveillance cameras, 460 smart traffic lights and 70 smart stops, as well as 45 weather stations were installed.

Compiled based on the news
at the website of the Government
of the Russian Federation:
<http://government.ru/news/44485/> ●



Новая методика расчёта нагрузки на дорожное полотно



Владимир Юрьевич Панков

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (СВФУ), Якутск, Россия.

✉ pankov1956@inbox.ru.

Владимир ПАНКОВ

АННОТАЦИЯ

Необходимым условием интенсивного социально-экономического развития любого региона является наличие развитой транспортно-логистической системы, обеспечивающей круглогодичные грузопассажирские перевозки.

В природно-климатических условиях криолитозоны, неотъемлемой частью которой является территория Арктической зоны Российской Федерации, единственным на сегодняшний день видом континуального транспорта, способного обеспечить круглогодичные перевозки, является автомобильный. Это связано с его компактностью, мобильностью, простотой в управлении и обслуживании, а также относительно низкой ценой как на единичное транспортное средство, так и на транспортные услуги, что предопределяет его использование на региональных и внутригородских перевозках в пределах криолитозоны.

Единственным условием эффективного использования автомобильного транспорта является обеспеченность территорий автомобильными дорогами общего пользования круглогодичного действия, соответствующими по своей конструкции прогнозируемой нагрузке от транспортных средств и интенсивности транспортного потока.

Правительством Российской Федерации принято решение о строительстве у г. Якутска автомобильного мостового перехода через р. Лена, который планируется принять в эксплуатацию в 2024 году. Соответственно, актуальной стано-

вится проблема оценки состояния улично-дорожной сети города с точки зрения возможностей пропуска перспективных транспортных потоков и организации дорожного движения с учётом конструктивных особенностей городских дорог.

Расчёты базовых параметров перспективных грузопассажирских потоков осуществлялись на основе новой авторской методики. На базе укрупнённой модели произведена прогнозная оценка роста относительной интенсивности транспортных потоков и нагрузок на автомобильные дороги г. Якутска после ввода в строй мостового перехода через р. Лена. Рассмотрены разнообразные транспортно-логистические схемы организации дорожного движения. Произведена оценка состояния и конструктивных особенностей дорог на выбранных маршрутах и рассчитана их пропускная способность и предельные нагрузки от транспортных потоков, которые выдержит их конструкция.

Установлено, что дорожная инфраструктура долины Туймаада не в состоянии обеспечить пропуск перспективных грузопотоков, которые будут поступать на левый берег р. Лена по мостовому переходу.

Доказано, что единственным возможным решением подавляющей части возникающих проблем грузовых перевозок является строительство федеральной окружной автомобильной дороги, проходящей, в основном, вне пределов долины р. Лена.

Ключевые слова: криолитозона, долина Туймаада, г. Якутск, городская улично-дорожная сеть, мостовой переход, грузовые перевозки, интенсивность движения, нагрузки на дорожное полотно, транспортные системы, организация дорожного движения.

Для цитирования: Панков В. Ю. Новая методика расчёта нагрузки на дорожное полотно // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 81–95. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-10>.

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

Постановка проблемы

Необходимым условием интенсивного социально-экономического развития любого региона является наличие развитой транспортно-логистической системы, обеспечивающей беспрепятственный обмен между смежными территориями необходимыми товарами, материалами, ресурсами, средствами производства и рабочей силой. Для административных единиц (государств, областей, районов), занимающих большие площади и характеризующихся сложными природно-климатическими условиями, важнейшей составляющей транспортно-логистических систем являются пути сообщения. В процессе развития человеческой цивилизации для общественно значимых грузопассажирских перевозок на дальние расстояния разработаны три вида технических транспортных систем – воздушные, водные и наземные. Каждый из этих видов требует строительства специфических путей сообщения, имеет свою структуру и инженерно-технические особенности, которые формируются с учётом, в первую очередь, объёма и состава перевозимых грузов, технической конфигурации транспортных систем, природно-климатических условий, а также социально-экономического состояния территории. В зависимости от этих факторов разрабатывается оптимальная транспортно-логистическая схема, предполагающая наиболее эффективное использование, по крайней мере, в экономическом аспекте, тех или иных разновидностей транспортных средств.

В силу исторически сформировавшейся структуры мировой транспортной сети ни один вид транспорта не в состоянии обеспечить в масштабах планеты полный цикл перевозки социально значимых объёмов грузов из пункта отправления до пункта назначения и, тем более, от производителя до потребителя. Глобальное перемещение значимых объёмов грузов всегда сопряжено с применением минимум двух видов транспортных систем, двух типов погрузочно-разгрузочных систем (кроме контейнерных перевозок) и двух специализированных инфраструктурных комплексов – путей сообщения. Наиболее часто применяемые пары транспортных средств общеизвестны: воздушный – автомобильный, железнодорожный – автомобильный, водный – автомобильный, автомобильный – ав-

томобильный. Обязательное присутствие в любой транспортной цепочке автомобильного транспорта связано с его компактностью, мобильностью, простотой в управлении и обслуживании, а также относительно низкой ценой как на единичное транспортное средство, так и на транспортные услуги. Эти особенности предопределяют безальтернативность автомобильного транспорта для грузовых внутригородских перевозок. С другой стороны, они же обеспечивают его привлекательность для использования в межрегиональных перевозках малых партий специфических по конфигурации и составу грузов. Единственным условием эффективного использования автомобильного транспорта является обеспеченность территорий автомобильными дорогами, соответствующими по своей конструкции прогнозируемой нагрузке от транспортных средств и интенсивности транспортного потока.

Данные подходы приобретают реальное практическое значение при реализации крупных инфраструктурных проектов и требуют разработки соответствующей методологии. Особенно это актуально в сложных физико-географических и климатических условиях. В этом плане характерным примером является комплексный проект улучшения связанности транспортной сети Республики Саха (Якутия) с федеральной автодорожной сетью.

В конце 2019 года Правительством Российской Федерации принято решение о строительстве мостового автомобильного перехода через реку Лена в непосредственной близости от столицы Республики Саха (Якутия) – города Якутска. Введение в эксплуатацию мостового перехода намечено на 2024 год. Его строительство приведёт к существенным изменениям в транспортно-логистической системе азиатской части Российской Федерации. Однако, в силу физико-географического положения и особенностей градостроительства в экстремальных природно-климатических условиях принципиальными, в эксплуатационном аспекте, эти изменения будут только для дорожно-транспортной сети речной долины Туймаада, по которой проложены автомобильные дороги федерального, регионального и муниципального значения, включая город Якутск. В связи с реализацией данного проекта необходимо на примере укрупнённой модели провести общий анализ возможностей дорожной системы городской

агломерации «Город Якутск» и сопредельных территорий по перераспределению и транзиту грузов после ввода в строй мостового перехода через р. Лена с целью выявления её перспективной пропускной способности (интенсивность движения) и устойчивости конструктивных элементов дорог под воздействием нагрузки от колёс автомобилей на дорожные одежды.

Систематического изучения дорожной инфраструктуры долины Туймаада в плане роста интенсивности движения и нагрузок не проводилось. Вопрос интенсивности движения рассматривался в качестве второстепенного при изучении возможности использования интеллектуальных транспортных систем на отдельных участках дорог г. Якутска [1]. Проблемы проектирования, физико-механические свойства и инженерно-геологические процессы в грунтах земляной насыпи, а также вопросы поведения материалов дорожных одежд при низких температурах автодорог криолитозоны в целом обсуждались в ряде работ [2–14].

Проблема устойчивости конструктивных элементов автодорог криолитозоны под воздействием нагрузок в научных источниках широко не рассматривается. Аналогичная ситуация сложилась и с научными исследованиями влияния нагрузки на дороги в более благоприятных природно-климатических условиях второй–пятой дорожно-климатических зон. Можно допустить, что на заинтересованность научного сообщества в общем анализе воздействия нагрузки от транспортных систем на дорожное полотно оказывают определённое влияние ограничения, налагаемые существующей нормативной базой дорожно-строительной отрасли.

В Российской Федерации расчёт нормативной нагрузки на дорожное полотно регламентируется ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения»¹. Анализ базовых положений данного норматива выявляет, на взгляд автора, некоторую формализован-

ность и в какой-то мере даже несоответствие реалиям грузопассажирских перевозок и известным физическим знаниям. Заложенные в норматив параметры в некоторой части неприемлемы для проведения проектно-исследовательских, строительных, эксплуатационных работ и, тем более, для построения моделей и осуществления прогнозных оценок грузопассажирских перевозок. Например, формулы расчёта нагрузки от легковых автомобилей (нагрузка АК) разработаны на базе «модельной тележки» со следующими параметрами: давление одной оси (для дорог IV категории) – 10,2 тонны (при ускорении свободного падения $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$) при ширине одного колеса 60 сантиметров. Среди технических средств отсутствуют легковые автомобили, имеющие вес 20,4 тонны (!). При этом каждое колесо такого автомобиля оказывает нагрузку на дорожное полотно около 510 килограмм (5 кН). То есть все четыре колеса оказывают нагрузку в 2040 килограмм. Несоответствие между весовыми параметрами модельной тележки и её весовой нагрузкой на дорожную одежду свидетельствует о проведении при подготовке документа некорректных расчётов, ставших основой базовых параметров нормативного документа. Нормативный вес грузового автомобиля (нагрузка НК) согласно параметрам этого же нормативного документа составляет около 73,5 тонн.

Выявленное несовершенство нормативной базы дорожно-строительной отрасли в части определения нагрузок предопределяет, по мнению автора, необходимость разработки новой унифицированной методики расчёта нагрузки, позволяющей использовать расчётные данные по любым видам или типам автомобильного транспорта, для всех классов дорог. Получаемые данные должны быть адаптированы к разнообразным транспортно-логистическим построениям и нормативной документации, что позволит осуществлять построение прогнозных моделей, включая математические.

Основной задачей работы является прогнозная оценка роста интенсивности движения и нагрузок на дороги, которые сформируются в пределах Городского округа «Город Якутск» после завершения строительства мостового перехода через р. Лена.

Для осуществления расчётов необходимо разработать укрупнённую модель грузопас-

¹ ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497>. Доступ 22.08.2021.



сажирских перевозок, учитывающую природно-климатические и инженерно-геологические условия, а также особенности дорожной инфраструктуры долины Туймаада, где расположена столица Республики Саха (Якутия).

Характеристика района и его дорожной инфраструктуры

Территориально район находится в юго-западной части Центрально-Якутской равнины. Рельеф равнинный, эрозивно-аккумулятивного типа.

Городской округ «Город Якутск» расположен в Центральной Якутии на левобережье реки Лена. Морфология района определяется его приуроченностью к речной долине (урочищу) «Туймаада». С севера долина ограничена Кангаласским мысом, а с юга – Табагинским. Протяжённость долины около 80 км. Площадь более 300 кв. км.

Долина, за исключением современной антропогенной нагрузки, сформирована в процессе эрозивно-аккумулятивной деятельности реки Лена. Представляет собой равнину, понижающуюся в северном направлении. Речные террасы выражены слабо, в основном из-за интенсивного техногенного преобразования ландшафта. Рельеф района однороден и сформирован аккумулятивными, местами эрозивно-денудационными процессами, типичен для речных долин равнинных рек. Фиксируются многочисленные озера старичного типа, местами пересыхающие в летний период или заросшие, а также небольшие термокарстовые озера. Заболоченность редка. Абсолютные отметки местности, не подвергшейся антропогенному воздействию, от 85 м до 101 м.²

Климат резко континентальный с ярко выраженными антициклональными условиями погоды, резкой сменой сезонов, высокой инсоляцией в летний период, жарким летом, очень морозной сухой безоблачной зимой. Зима продолжается в течение 204–215 дней. Минимальная зимняя температура минус 56–58°C. Максимумы летней – 38–39°C. Среднегодовая температура – минус 9,1°C. По

природно-климатическим условиям район относится к северной строительно-климатической зоне с наиболее суровыми условиями, климатический подрайон IА³.

Верхнечетвертичные отложения долины Туймаада представлены аллювием двух нижних террас р. Лена – Сангыяхтахской и Якутской [15]. Все отложения исследуемого района находятся в мерзлом состоянии. В гидрологическом плане относятся к аллювиальным отложениям Хатасской впадины Приленского криоартезианского бассейна [16; 17]. Мощность многолетнемерзлых пород в урочище Туймаада составляет 350–400 м. Согласно разрозненным данным проектно-изыскательских работ на участках, не подвергшихся антропогенному воздействию, глубина слоя сезонного оттаивания находится в пределах 3,3–4,2 м. По данным полевых экспедиционных наблюдений в пределах городской застройки глубина слоя сезонного оттаивания находится в интервале 6,0–9,0 м.

В административных границах г. Якутска присутствуют многочисленные озера, ручьи, а также р. Шестаковка. Как показывают многолетние гидрологические наблюдения, уровни их водной поверхности в летний период не подвержены существенному снижению, что свидетельствует о высокой обводнённости грунтов городской территории. Это подтверждают немногочисленные данные лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов (фондовые материалы). Установлено, что влажность большинства исследованных грунтов основания земляного полотна городских дорог превышает значение влажности на границе текучести. Кроме того, на отдельных участках дорог, проложенных в пределах первой речной террасы, фиксируются погребённые русла или рукава р. Лена, в которых даже в зимнее время сохраняется течение. Таким образом, можно утверждать, что дорожная инфраструктура г. Якутска формируется большей частью на грунтах первой подзоны первой дорожно-климатической зоны, для которой отсутствуют нормативные строительные документы. Следовательно, строительство, эксплуатация, ремонт и реконструкция городских дорог и магистралей осуществляется в соответствии с нормативными требованиями, разработанными для второй подзоны первой дорожно-климатической зоны, что многократно снижает устойчивость их конструктивных

² Топографическая карта масштаба 1:200 000. Источник открытого доступа.

³ СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология». [Электронный ресурс]: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/d4f/SP-131.pdf>. Доступ 22.08.2021.

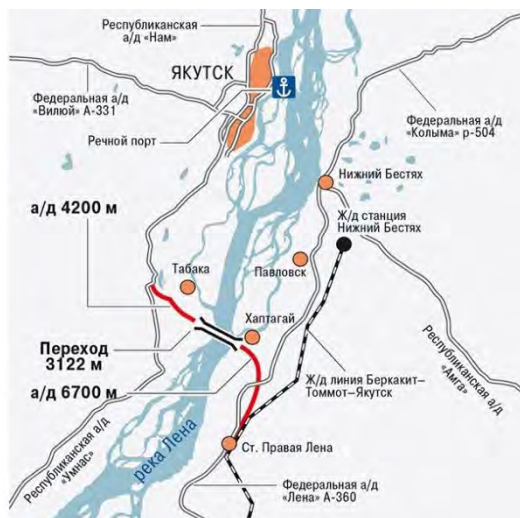


Рис. 1. Схема района (без п. Жатай) с проектным положением мостового перехода через р. Лена. [Электронный ресурс]: https://icdn.lenta.ru/images/2019/11/29/14/20191129142456692/preview_df519b35497e2cba89f41562385e4511/. Доступ 22.08.2021.

элементов и вызывает ускоренный процесс деформации земляного полотна и разрушения дорожных одежд [5–8].

Кроме городского округа «Город Якутск», наиболее значимым, в рамках обсуждаемой темы, поселением долины Туймаада является посёлок Жатай, представляющий собой самостоятельную административную единицу. Он расположен в 17 км к северу от столицы.

По данным на 2021 год население г. Якутска составляло 330615 человек, а п. Жатай⁴ – 10511 человек.

Наиболее крупными промышленными объектами долины Туймаада являются Якутский аэропорт, Якутский домостроительный комбинат, Якутский речной порт, Якутский комбинат строительных материалов и конструкций, Якутский завод железобетонных изделий, две тепловых электростанции, Якутская нефтебаза (п. Жатай), Жатайский судоремонтно-судостроительный завод (п. Жатай), Территория опережающего социально-экономического развития «Кангалассы».

На противоположном от г. Якутска берегу р. Лена располагается несколько поселений, наиболее значимым из которых, в транспортно-логистическом плане, является посёлок Нижний Бестях⁵, с населением 4387 человек (по данным на 2021 год). Его значимость

связана с тем, что посёлок является конечным пунктом железной дороги «Беркаит–Томмот–Якутск», связывающей Южную и Центральную Якутию. В посёлке и его окрестностях построен Нижнебестяхский транспортно-логистический центр круглогодичной переработки грузов, поступающих по железной дороге (рис. 1).

Долина Туймаада с сопредельными правобережными территориями формирует основу так называемого Якутского транспортно-логистического узла – важнейшего инфраструктурного транспортного объекта Центральной Якутии. Это обусловлено следующими факторами:

1. Город Якутск расположен на левом берегу важнейшей водной транспортной артерии Якутии – реке Лена.

2. В долине Туймаада непосредственно на г. Якутск замыкаются федеральная автомобильная дорога (ФАД) А-331 «Вилуй» (Тулун, Иркутская область–Якутск, протяжённость 3000 км), республиканская автомобильная дорога «Умнас» (Якутск–Покровск–Олёкминск–Дабан–Чапаево–Турукта–Ленск, 1216 км), республиканская автомобильная дорога «Нам» (Якутск–Намцы–Булус, 160 км).

3. Нижний Бестях (правый берег р. Лена) является пунктом стыковки ФАД А-360 «Лена» (Невер–Якутск, 1157 км), ФАД Р-504 «Колыма» (Магадан–Якутск, 2021 км), республиканской автомобильной дороги «Амга» (Нижний Бестях–Амга–Усть-Мая–Эльдикан–Югорёнок, 702 км) и железной дороги

⁴ Соответственно, сайт «города-россия.рф»: gorodarus.ru.zhataj.html.

⁵ Численность населения села Бестях Жиганского улуса Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]: <https://bdex.ru/naselenie/respublika-saha-yakutiya/n/jiganskiy/bestyah/>. Доступ 22.08.2021.



Беркакит–Томмот–Якутск, протяжённостью около 900 км.

Несмотря на формальное обозначение одним из конечных пунктов ФАД «Лена» и «Колыма» г. Якутска, дороги до города не доходят. Они заканчиваются на правом берегу р. Лена. Транспортировка грузов до правого берега осуществляется летом с помощью паромов, а зимой – ледовых переправ. При этом в межсезонные периоды (ледоход, ледостав) транспортировка значимых объёмов грузов через р. Лена прекращается. Длительность перерыва для грузовых автомобилей массой более 20 тонн может составлять до трёх и более месяцев.

По функционирующей на сегодняшний день транспортно-логистической схеме подавляющая часть грузов, поступающих в долину Туймаада по паромным и ледовым переправам, а также в Якутский речной порт, перевозится автомобильным транспортом по городской уличной сети. Главными пунктами назначения являются складские помещения, основные из которых локализованы на южной и западной окраинах г. Якутска. Значительная доля грузов уходит транзитом через столицу на ФАД А-331 «Виллой» (рис. 1). Исключение составляют только горючесмазочные материалы (ГСМ). Они завозятся в г. Якутск исключительно в летний период речными наливными судами. Разгрузка ГСМ, предназначенных для Центральной Якутии, осуществляется непосредственно с судов на терминале Якутской нефтебазы в п. Жатай. Через г. Якутск транзитом на ФАД А-331 «Виллой» проходят только ГСМ, предназначенные для районов и улусов левобережья р. Лена.

Массовые грузовые перевозки в Якутском транспортно-логистическом узле осуществляются исключительно через территорию городского округа и по городским дорогам. При этом в транспортном каркасе города Якутска существует всего несколько дорог, по которым, в рамках действующих нормативов, приведённых в СНиП 02.07.01-89 «Градостроительство»⁶, могут передвигаться большегрузные автомобили. К ним относится трасса, проходящая через город с востока (далее Восточный городской коридор, ВГК) по надпойменной речной террасе (вторая

пойменная) – Новопортовское шоссе–ул. Чернышевского–ул. Хабарова–ул. Богдана Чижика–ул. 50 лет Советской Армии–ул. Васильева–РАД Нам. На западной окраине (далее Западный городской коридор, ЗГК) находится несколько разрозненных дорог, позволяющих осуществлять грузовые перевозки в субмеридиональном направлении – ул. Автодорожная–ул. Красильникова–ул. Лермонтова–ул. Кеши Алексеева–ул. Чайковского–ул. Винокурова–Вилуйский тракт–Окружное шоссе–РАД Нам.

На основании вышеизложенного, возможно обсуждение только двух схем перемещения грузов, поступающих по железной дороге, в пределах долины Туймаада (рис. 1):

Схема 1. Подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас» (около 30 км)–граница ГО «Город Якутск»–ЗГК–промзона и складские терминалы западной окраины г. Якутска–транзитные грузы на ФАД А-331 «Виллой».

Схема 2. Подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас» (около 30 км)–граница ГО «Город Якутск»–ВГК–РАД «Нам»–Якутская нефтебаза (пос. Жатай).

В обе схемы включен один и тот же участок дороги протяжённостью около 35 км – подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас», что связано с его безальтернативностью в сложившейся дорожной инфраструктуре долины Туймаада.

МЕТОДОЛОГИЯ

В связи с возникшей проблемой отсутствия корректной нормативной документации по определению нагрузки на дорожные одежды от потока автомобилей и составления прогнозов по динамике её изменения, автором разработана собственная система оценки нагрузки. В её основу заложен принцип расчёта осевой нагрузки любого автотранспортного средства, приведённой к осевой нагрузке так называемого «нормативного приведённого легкового автомобиля» (нормативное требование дорожно-строительной отрасли). Нормативная осевая нагрузка от приведённого легкового автомобиля определяется на основе категории дороги или её участка (табл. 1). Категория дороги указывается в паспорте дороги (фондовые материалы) или нормативных документах. Далее производится оценка существующего или перспективного грузопассажирского потока. Оценивается

⁶ [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854799.pdf/>. Доступ 22.08.2021.

Таблица 1

Определение категории дороги по интенсивности движения*

Категория дороги	Расчётная интенсивность движения, авт./сут.	
	в транспортных единицах	приведённая к легковому автомобилю
1-а	Свыше 7000	Свыше 14000
1-б	Свыше 7000	Свыше 14000
II	3000-7000	6000-14000
III	1000-3000	2000-6000
IV	100-1000	200-2000
V	Менее 100	Менее 200

* По: СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». [Электронный ресурс]: docs.cntd.ru/document/1200095524/. Доступ 22.08.2021.

общий объём структуры грузопассажирских перевозок. Определяются технические характеристики транспортных средств, которые будут задействованы на перевозках. Рассчитывается реальная осевая нагрузка существующего или перспективного транспортного потока с учётом видов перевозимых грузов (насыпные, наливные, габаритные, пищевые продукты, удобрения и т.д.) и пассажиров. Полученные данные приводятся к нормативной осевой нагрузке нормативного приведённого легкового автомобиля.

В укрупнённой модели/схеме грузовых перевозок принято, что структура грузов для каждого из городских коридоров имеет свою специфику. По ВГК транзитом до Якутской нефтебазы (п. Жатай) перевозятся исключительно горюче-смазочные материалы и нефтепродукты (далее ГСМ). По западному городскому коридору перевозятся все остальные грузы. К ним относятся грузы, следующие транзитом на ФАД А-331 «Виллой», а также предназначенные для размещения на складских площадях Хатынг-Юряхского и Окружного шоссе. Согласно классификации городских улиц и дорог (СНиП 02.07.01-89 «Градостроительство») все дороги ВГК и ЗГК относятся к II категории – «Магистральные улицы». В соответствии с технической классификацией (табл. 1), которая устанавливается в зависимости от интенсивности движения, все участки дорог обоих коридоров относятся к IV категории. Реальная расчётная интенсивность движения на дорогах общего пользования четвёртой категории, приведённая к легковому автомобилю, по которой проектируется конструкция дороги, составляет 200–2000 нормативных легковых автомобилей в сутки в обоих направлениях.

При этом, в соответствии с особенностями нормативной базы, автомобильные дороги IV

категории и городские магистральные дороги строятся, в основном, под осевую нагрузку до шести тонн.

Основной проблемой, которую необходимо решить в процессе моделирования, является определение возможностей городской дорожной инфраструктуры по обеспечению беспрепятственного пропуска грузов, которые будут поступать на левый берег р. Лена после строительства мостового перехода, с учётом развития на перспективу 20 лет. Для построения и расчёта укрупнённой модели необходимо определить её базовые параметры, включающие:

1. Определение каналов транспортировки грузов через городскую инфраструктуру и их технических возможностей (интенсивность и нагрузка) по обеспечению грузоперевозок.
2. Оценку роста объёма грузооборота после строительства мостового перехода через р. Лена по отдельным видам грузов.
3. Выбор технических систем, участвующих в транспортировке грузов, и вычисление нормативного роста интенсивности движения, а также оказываемой ими физической нагрузки на городские дороги.

Полученные результаты по росту интенсивности движения и нагрузки на городских дорогах при сопоставлении с реально существующими техническими возможностями городской дорожной инфраструктуры позволят провести оценку перспективных направлений модернизации или реконструкции дорожной инфраструктуры долины Туймаада.

Как было показано выше, в силу особенностей исторического развития городской застройки транспортировка грузов возможна только сквозь городскую территорию и исключительно по двум маршрутам – восточному и западному городским коридорам (соответственно, ВГК и ЗГК). Перевозка грузов



может осуществляться по двум схемам. Обе схемы имеют общий участок – подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км) – РАД «Умнас» (около 30 км) – граница ГО «Город Якутск». По восточному коридору предполагается транспортировка исключительно ГСМ, а по западному – всех остальных грузов. Все дороги, включённые в схемы, относятся к IV категории с нормативной максимально допустимой осевой нагрузкой шесть тонн.

Проведем расчёт более приближенной к реальности нагрузки на дорожную одежду от нормативного/приведённого легкового автомобиля, который заложен в базис укрупнённой модели. Параметры для расчёта:

- вес нормативного автомобиля – 1500 кг (14715 Н при $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$);
- количество осей – 2;
- количество колёс – 4;
- ширина одной шины – 0,145 м;
- протяжённость площадки касания шины с дорожной одеждой по оси движения автомобиля – 0,1 м.

Принятая ширина шины 145 мм соответствует минимальной ширине шин, выпускаемых отечественной промышленностью для автомобилей эконом-класса, что позволяет определить максимально возможную нагрузку от колеса приведённого автомобиля на дорожную конструкцию.

Площадь (S) площадки касания шины с дорогой составляет $0,0145 \text{ м}^2$. На одно колесо приходится 375 кг веса автомобиля, что составляет 3678,75 Н ($P_{\text{авт.}}$). Определяем нагрузку (P), создаваемую одним колесом нормативного легкового автомобиля на дорожную одежду:

$$P = \frac{P_{\text{авт.}}}{S} = 3678,75 \text{ Н} / 0,0145 \text{ м}^2 = 253706,89655 \text{ Па} \approx 253,707 \text{ кПа}.$$

Для сравнения определим давление колеса «модельной тележки» ($P_{\text{н}}$), приведённой в ГОСТ 52748-2007⁷, на площадку касания $0,0145 \text{ м}^2$:

$$P = \frac{P_{\text{н}}}{S} = 500 \text{ Н} / 0,0145 \text{ м}^2 = 34482,75862 \text{ Па} \approx 34,482 \text{ кПа}.$$

Таким образом, давление на дорожную одежду колеса «модельной тележки» ГОСТа более чем в семь раз меньше давления колеса

нормативного автомобиля. Соответственно, применение рекомендаций данного нормативного документа при практических расчётах приведёт к непредсказуемым результатам в плане устойчивости и безопасности автодорог.

Следует особо подчеркнуть, что выражение осевой нагрузки в ньютонах, принятое в нормативной документации, имеет очень маленькую значимость при практических расчётах нагрузки на дорожные одежды. Осевая нагрузка, выраженная в ньютонах, фиксируется только специальным оборудованием в ходе достаточно громоздкой процедуры и только с целью стандартизации данных замеров (например, под воздействием статического или динамического штампов) при проверке качества дорожных одежд. Значения осевого давления, выраженные в ньютонах, не изменяются при вариациях ускорения свободного падения в различных точках земной поверхности. В этом аспекте измеренное осевое давление отражает силу воздействия оси автомобиля на шток измерительного прибора и никоим образом не связано с воздействием автомобиля на дорожное полотно. Воздействие веса автомобиля на дорожную одежду передаётся колесами через площадку касания и должно выражаться в паскалях (Н/м^2). В реальных условиях при получении данных оперативного контроля за дорожным движением определение параметров площадки касания каждого колеса всех автомобилей невозможно. Факторами, влияющими на размер площадки касания, выступают: тип автомобиля, вид и качество шин, их ширина и рабочее давление, количество груза, температура воздуха и т. п. Соответственно, в практике дорожного контроля нагрузки от автомобилей на конструкционные элементы автомобильных дорог повсеместно используются килограммы. Это значение отражает вес автомобиля и легко фиксируется на постах весового контроля даже у движущихся автомобилей. Соответственно, при расчётах нагрузок в рамках укрупнённой модели в качестве единицы измерения применяется килограмм.

У дорог II–V категорий обозначен верхний предел допустимой интенсивности движения. Предполагается, что конструкция дороги определённой категории рассчитана на прохождение по ней именно этого максимального количества автомобилей за сутки. Данные по интенсивности движения в транспортных

⁷ ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497/>. Доступ 22.08.2021.

единицах не позволяют идентифицировать вес каждой единицы. Напомним существенные для расчётов параметры приведённого легкового автомобиля:

- вес – 1500 кг;
- и количество осей – 2.

Рассчитаем:

1. Общую нормативную приведённую суточную нагрузку на дорожную одежду (P1), представляющую собой произведение максимальной суточной нормативной интенсивности приведённых легковых автомобилей на массу одного приведённого автомобиля.

Для дорог IV категории:

$$P1(IV) = 2000 \text{ авт./сут.} \times 1500 \text{ кг} = 3\,000\,000 \text{ кг/сут.} = 3\,000 \text{ т/сут.}$$

2. Единичную нормативную осевую нагрузку от приведённого автомобиля (P2), получаемую путём деления массы одного автомобиля на количество осей.

Для дорог любой категории:

$$P2 = 1500 \text{ кг}/2 = 750 \text{ кг.}$$

3. Количество нормативных осевых воздействий (N1), определяющееся путём перемножения количества нормативных приведённых легковых автомобилей на количество осей.

Для дорог IV категории:

$$N1 = 2000 \text{ авт./сут.} \times 2 = 4000.$$

Этот показатель безразмерный. Его можно использовать при определении дополнительных нагрузок на дорожные одежды, возникающих при действии импульса силы на неровностях или выбоинах, а также центробежных сил и сдвиговых усилий в материалах дорожных одежд на поворотах.

Обозначенные параметры – нормативные, т.е. рассчитанные по нормативным требованиям к интенсивности движения. В то же время, аналогичные расчёты можно произвести и для модельных или реальных колёсных транспортных средств. Вычислив среднюю осевую нагрузку (P3) технического транспортного средства по методике P2, необходимо определить коэффициент приведения (M1) средней осевой нагрузки технического средства к единичной нормативной осевой нагрузке от приведённого автомобиля по формуле: $M1 = P3 / P2$. (1)

Коэффициент приведения показывает, какому количеству единичных нормативных осевых нагрузок от приведённого автомобиля соответствует средняя осевая нагрузка рассматриваемого технического средства, и поз-

воляет вести сравнительный анализ относительных изменений нагрузки по отношению к нормативной. Для любого колёсного транспортного средства, также, как и для приведённого, вычисляются общая суточная нагрузка на дорожную одежду (P4), количество осевых воздействий (N2), которое можно привести к нормативному легковому автомобилю по формуле $N1 = N2 \times M1$. Предлагаемые единицы измерения позволяют в рамках действующей нормативной документации количественно оценить интенсивность нагрузки и её временные колебания для любой дороги в целом, отдельных участков или произвольных поперечных профилей. При этом появляется возможность оценки воздействия любых видов транспортных средств, включая мотоциклы, велосипеды и т.п.

Исходя из нормативной интенсивности движения для дорог IV категории (200–2000 авт./сут.) и веса нормативного автомобиля (1500 кг) определяем максимально допустимую общую нормативную приведённую суточную нагрузку на дорожную одежду.

$$P1_{\text{max}} = 2000 \text{ авт./сут.} \times 2 \times 750 \text{ кг} = 3\,000\,000 \text{ кг/сут.} = 3\,000 \text{ т/сут.}$$

Нормативная приведённая осевая нагрузка (общая и единичная) показывает какое осевое давление оказывает нормативный автомобиль или поток автомобилей на дорожную одежду как в статическом состоянии, так и на всей протяжённости своего движения. Воздействие же на дорожную одежду осуществляется колёсами через площадку касания. При этом основная доля нагрузки приходится на колею движения в пределах дорожной полосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После введения в эксплуатацию мостового перехода через р. Лена транспортный поток г. Якутска будет складываться из трёх составляющих: существующего на сегодняшний день, перенаправленного с зимних ледовых и летних паромных переправ, а также транспортных средств, перевозящих грузы, поступающих по железной дороге (основной поток).

Принято считать, что существующая интенсивность движения не превышает нормативную и составляет 2000 приведённых автомобилей в сутки. Нормативная осевая нагрузка на дорожную одежду, включая транспортные потоки ледовых и паромных переправ, – 3 000 тонн





Таблица 2

Интенсивность перераспределённого транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка в перспективе на 2044 год [таблица составлена автором с использованием в столбце 2 данных*]

Тип транспорта	Интенсивность движения авт./сутки, ед./привед.	Снаряжённая масса, кг	Масса с грузом или пассажирами, кг	Кол-во осей, шт.	P4 / N2, т/к-во	M1 / N1
1	2	3	4	5	6	7
Легковые автомобили	4550*/4550	1500	1500	2	6750/9100	1/9100
Автобусы	185*/629	17930	23130	2	4279/370	15,42/5705
Грузовые автомобили по грузоподъёмности:						
До 5 тонн	445*/890	2500	7500	2	3338/890	5/4450
от 5 т до 12 т	450*/1080	6000	18000	3	8100/1350	8/10800
от 12 т до 20 т	275*/715	7000	24000	4	6600/1100	8/8800
свыше 20 т	495*/1485	7000	30000	5	14850/2475	8/19880
Итого	6400*/9349	—	—	—	43917/15285	-/58735

* Данные ООО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры».

в сутки. Количество суточных нормативных осевых воздействий (N1) – 4000.

Оценка интенсивности перераспределённого потока, с перспективой на 2044 г., произведена Научно-исследовательским и проектным институтом территориального развития и транспортной инфраструктуры⁸. Эта оценка представлена в табл. 2, которая расширена расчётными данными автора по нормативной приведённой интенсивности и нормативной приведённой осевой нагрузке.

Весь перераспределённый поток в рассматриваемой модели проходит по маршруту схемы № 1.

Расчёт прогноза движения, проведённого Научно-исследовательским и проектным институтом территориального развития и транспортной инфраструктуры, в соответствии с поставленными перед ним задачами был ориентирован исключительно на определение интенсивности потока. В нём отсутствуют какие-либо прогнозы и данные по изменению нагрузки на дорожные одежды. Соответственно, не принимается во внимание количество груза/пассажиров в транспортных единицах.

⁸ Примечание: Транспортная модель проекта строительства мостового перехода через реку Лена в районе г. Якутска. Этап 1. ООО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры». Санкт-Петербург, 2018, 93 с.

В связи с этим приведём базовые параметры вычисления приведённой осевой нагрузки для различных типов транспортных средств, представленных в табл. 2:

- Легковые автомобили. Характеристики соответствуют параметрам нормативного приведённого автомобиля – масса 1500 кг, две оси.
- Определение осевой нагрузки автобусов проводилось для наиболее распространённой марки, курсирующей на пригородных маршрутах. Марка – ЛиАЗ 525657. Снаряжённая масса – 17930 кг. Количество осей – 2. Максимальное количество пассажиров – 104. В расчётах принята загрузка в 50 % при нормативном весе одного условного пассажира 100 кг.
- Грузовые автомобили грузоподъёмностью до 5 т. Снаряжённая масса – 2500 кг. Общая масса – 7500 кг. Количество осей – 2.
- Для автомобилей грузоподъёмностью более пяти тонн характеристики определялись исходя из максимального допустимого осевого давления для дорог принятой категории (6000 кг) и количества осей. По нормативной максимальной грузоподъёмности для автомобилей грузоподъёмностью от 12 до 20 т и выше 20 т – с учётом снаряжённой массы возможного шасси – определялась масса снаряжённого автомобиля. Для перераспределённого потока принципиальное значение

имеет только полная масса транспортного средства.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 12 т. Осей – 3. Максимально допустимая общая масса – 18000 кг. Снаряжённая масса – 6000 кг.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью от 12 до 20 т. Осей – 4. Максимально допустимая общая масса – 24000 кг. Снаряжённая масса – 7000 кг.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью более 20 т. Осей – 5. Максимально допустимая полная масса – 30000 кг. Снаряжённая масса – 7000 кг.

В основном потоке грузооборота между пунктом отправления и г. Якутском будут формироваться два принципиально отличающихся вектора движения. С грузовых терминалов станции Нижний Бестях до пунктов назначения автомобили перемещаются с полной загрузкой, а из долины Туймаада до терминалов – преимущественно с массой снаряжённого состояния (порожние). Соответственно, для расчётов интенсивности движения и приведённой осевой нагрузки при движении автомобилей до станции Нижний Бестях необходимы конкретные данные по весу транспортных средств в снаряжённом состоянии.

Для расчётов параметров основного потока выбрано шасси типа КамАЗ 65201-63. Количество осей – 4. Снаряжённая масса – 11250 кг.

Транспортировка нефтепродуктов осуществляется автоцистерной типа «Сеспель» с полной массой 35400 кг. Снаряжённая масса – 10400 кг. Полезный груз – 25000 кг. Количество осей – 3.

Расчётные характеристики транспортного средства с автоцистерной для перевозки нефтепродуктов: количество осей – 7. Полная масса – 47650 кг. Снаряжённая масса – 21650 кг. Полезный груз – 26000 кг.

Все остальные грузы транспортируются соответствующими им кузовными устройствами с трёхосной тележкой. Полная масса кузовного устройства – 30750 кг, расчётная снаряжённая масса – 8000 кг. Полезный груз – 22750 кг.

Расчётные характеристики транспортного средства для перевозки «сухих» грузов: количество осей – 7. Полная масса – 42000 кг. Снаряжённая масса – 19250 кг. Полезный груз – 22750 кг.

Оценим объём и структуру основного транспортного потока. В соответствии с дан-

ными пресс-службы Акционерной компании «Железные дороги Якутии»⁹, пусковой комплексов Томмот–Нижний Бестях строился с расчётом на пропускную способность шесть млн тонн в год. Принимаем, что два млн тонн направляются в восточном и юго-восточном направлениях по дорогам Р-504 «Колыма» и «Амга». На левобережье через мост будет поступать четыре млн тонн.

В соответствии с официальными документами Правительства Республики Саха (Якутия), в частности Распоряжением Правительства Республики Саха (Якутия) от 29 марта 2019 года № 322-р «Об организации завоза грузов в Республику Саха (Якутия) в навигацию 2019 года (с изменениями на 3 октября 2019 года)» (в ред. распоряжения Правительства Республики Саха (Якутия) от 03.10.2019 № 1264-р)¹⁰ объём «северного завоза» нефтепродуктов в Республику Саха (Якутия) в навигацию 2019 года составлял около 500 тыс. тонн. Потребность Центральной Якутии в горюче-смазочных материалах также составляет около 500 тыс. тонн. Таким образом, в потоке грузов на левобережье один млн тонн будут составлять нефтепродукты и ГСМ и три млн тонн – прочие грузы.

Исходя из структуры и объёма грузов, рассчитаем потребность в технических средствах (N, в штуках) для их транспортировки по формуле:

$$N = \frac{\text{объём груза/грузоподъёмность транспортного средства}}{\text{единицы}} \quad (2)$$

Нефтепродукты и ГСМ (N₄):

$$N_4 = \frac{1\,000\,000\,000 \text{ кг}}{25\,000 \text{ кг}} = 40\,000 \text{ авт.}$$

Среднегодовая среднесуточная интенсивность (I_{сннеф}) автоцистерн:

$$I_4 = 40\,000 \text{ авт.} \times \frac{2}{365} \text{ суток} = 109,59 \times 2 \text{ авт./сут.} \sim 110 \times 2 \text{ авт./сут.} = 220 \text{ авт./сут.}$$

Прочие грузы (N₅):

$$N_5 = \frac{3\,000\,000\,000 \text{ кг}}{22\,750 \text{ кг}} = 131\,868,13 \text{ авт.} \sim 131\,869 \text{ авт.}$$

Среднегодовая среднесуточная интенсивность (I_{снгруз}) грузовиков:

$$I_5 = 131\,869 \text{ авт.} \times \frac{2}{365} \text{ суток} = 361,28 \times 2 \text{ авт./сут.} \sim 362 \times 2 \text{ авт./сут.} = 724 \text{ авт./сут.}$$

При расчёте интенсивности умножение на два учитывает движение транспортного потока в обоих направлениях.

⁹ Официальный сайт Акционерной компании «Железные дороги Якутии». [Электронный ресурс]: <https://rw-y.ru/>. Доступ 22.08.2021.

¹⁰ Официальный сайт Правительства Республики Саха (Якутия), <http://docs.cntd.ru/document/561407665>.



Таблица 3

Интенсивность перспективного основного транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка на участке Умнас [составлено автором]

Тип транспорта	Интенсивность движения авт./сут., ед./привед.	Загрузка	Масса одной транспортной единицы, кг	Кол-во осей, шт.	P4 / N2, т/к-во	M1 / N1
1	2	3	4	5	6	7
КамАЗ 65201-63 с автоцистерной типа «Сеспель»	110/330	Полная	47650	7	5241,5/770	9,1/6989
	110/330	Порожнем	21650	7	2381,5/770	4,1/3175
КамАЗ 65201-63 с кузовным устройством	724/2172	Полная	42000	7	30408/5068	8/40544
	724/2172	Порожнем	19250	7	13937/5068	3,7/18752
Итого	1668/5004	—	—	—	51968/11676	-/69460

Таблица 4

Характеристики перспективного транспортного потока на отдельных участках дороги долины Туймаада [составлено автором]

Участок	Интенсивность движения в приведённых автомобилях ($I_{привед}$), авт./сут.	Прирост к предельно допустимой нормативной (существующей), %	Общая суточная нагрузка на дорожные одежды (Р), т	Прирост к предельно допустимой нормативной (существующей), %	Количество нормативных осевых суточных воздействий (N1), шт.	Прирост к предельно допустимым нормативным (существующим), %
1	2	3	4	5	6	7
Умнас	14354	717,8	95885	3196,17	128195	3205
ЗГК	13694	684,7	88262	2942,07	118031	2951
ВГК	660	33	7623	254,1	10164	255
Нам – Якутская нефтебаза	660	33	7623	254,1	10164	255

Интенсивность основного транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка представлены в табл. 3.

Прежде чем начать анализ роста интенсивности движения и нагрузки на дорожное полотно, следует выделить в расчётных схемах транспортировки грузов участки с одной плотностью движения.

Обе схемы имеют один общий участок – РАД «Умнас»–граница ГО «Город Якутск» протяжённостью около 30 км (далее «участок Умнас»). По нему будут перевозиться все грузы, поступающие на левобережье с моста.

На границе города – кольцевая развязка РАД Умнас, ул. Автодорожная, ул. Красильникова – единый транспортный поток разбивается на два, направляясь по Западному (ЗГК) и Восточному (ВГК) городским коридорам.

В соответствии с рассматриваемой укрупнённой моделью, по Восточному коридору производится транспортировка только неф-

тепродуктов и ГСМ до Якутской нефтебазы в пос. Жатай (схема 2). Все прочие грузы и пассажирские перевозки следуют по Западному коридору (схема 1). Расчётные характеристики перспективных транспортных потоков по отдельным участкам представлены в табл. 4.

Как видно из данных, приведённых в табл. 4, наиболее проблемная ситуация сложится на участке Умнас. Расчётная интенсивность движения на участке с учётом существующего транспортного потока достигнет 16354 приведённых автомобилей в сутки, что соответствует интенсивности движения дорог I категории, точнее – категории I-б (магистральные дороги общего назначения). В то же время общая суточная нагрузка и количество нормативных осевых суточных воздействий на дорожные одежды возрастут примерно в 32 раза. Следует напомнить, что конструкция дорожных одежд и тела земляной насыпи участка Ум-

нас рассчитывалась на основе нормативов для дорог IV категории с учётом перспективы на ближайшие 20 лет. Однако в перспективе рассматривался только транспортный поток левобережья и, скорее всего, учитывалось увеличение грузопотока, связанного с завершением строительства республиканской дороги круглогодичного действия «Умнас» (Якутск–Ленск, 1216 км).

Исходя из проведённых расчётов укрупнённой модели грузопассажирских перевозок и учитывая сегодняшнее состояние дороги на участке Умнас, можно утверждать, что после введения в действие мостового перехода через р. Лена этот участок не сможет обеспечить пропуск транспортного потока с правобережья. Рост интенсивности движения в 7,17 раз приведёт к блокировке движения в обе стороны из-за возникновения пробок, в первую очередь на кольцевой развязке Умнас–Новопокровское шоссе–Автодорожная. При этом общая суточная нагрузка на дорожные одежды достигнет 98885 т при нормативных 3000 т. Примерно в 32 раза возрастёт скорость истирания асфальтобетонного покрытия и интенсивность образования колеи в летний период. В осенне-весенний периоды при насыщении тела земляной насыпи водой (до 100 %) при такой нагрузке неизбежны процессы её деформации и просадки. В зимний период, который длится более семи месяцев, когда асфальтобетонные дорожные одежды приобретают повышенную хрупкость [5], рост нормативных осевых суточных воздействий на 3205 % (табл. 4, ст. 7) вызовет интенсивное разрушение асфальтобетонного покрытия. Оно будет разрушено за один зимний сезон или будет требовать ежегодного капитального ремонта на всей протяжённости участка, при нормативном сроке межремонтного периода один раз в 12 лет.

Аналогичное положение дел сформируется и в Западном городском коридоре. С учётом существующего городского потока интенсивность движения составит 16694 приведённых автомобилей в сутки, что также соответствует категории Ib. При изменении базовых параметров модели в части равномерного распределения легковых автомобилей перераспределённого потока между ЗГК, ВГК и трассой ул. Автодорожная–ул. Ойунского (табл. 2), а также направления движения автобусов по ул. Автодорожная–ул. Ойунского–Автовокзал, интенсивность на участке ул. Красиль-

никова–ФАД А-331 «Виллой» составит 13031 приведённый автомобиль в сутки. Полученная интенсивность соответствует II категории автодорог.

В Восточном городском коридоре по интенсивности движения и нагрузкам на дорожное полотно, на первый взгляд, складывается достаточно благоприятная обстановка. Если проектирование и строительство дорог коридора учитывали расчётные перспективные потоки, то никаких технических проблем с пропуском грузового транспорта не существует. Однако, в соответствии с моделью, этот грузопоток представлен исключительно автоцистернами, перевозящими нефтепродукты и ГСМ. ВГК и ЗГК проходят исключительно по территории городских жилых застроек. Расчётный годовой объём перевозимых нефтепродуктов и ГСМ – 1 млн тонн. Этот вид грузов относится к особо опасным, и массовая транспортировка таких грузов через жилые сектора городов запрещена. Таким образом, доставка особо опасных грузов от железнодорожной станции до п. Жатай через городскую дорожную инфраструктуру невозможна в принципе.

Транзит через городскую инфраструктуру около трёх млн тонн народно-хозяйственных грузов (без нефтепродуктов) имеет формальное решение. Принимая во внимание имеющиеся на сегодняшний день проблемы городской дорожной инфраструктуры [1], одним из наиболее привычных путей кажется реконструкция комплекса дорог, входящих в схему 1, и доведение их по пропускной способности и допустимой осевой нагрузке до состояния дорог категории Ib. Однако особенности исторически унаследованной схемы жилой застройки и дорожной схемы г. Якутска, качество грунтов оснований и нормативные требования к городским дорогам и магистралям исключают возможность реализации данного проекта даже в отдалённой перспективе.

В то же время, важной проблемой, создающей практически непреодолимый барьер для решения очевидной транспортно-логистической проблемы, является то, что в обсуждаемые схемы транспортировки грузов включены дороги, строительство, ремонт и содержание которых осуществляется за счёт средств бюджетов трёх различных уровней. Подход к мостовому переходу на левом берегу р. Лена, протяжённостью около 4,2 км, будет относиться к федераль-



ному уровню. Участок дороги «Умнас» до границы ГО «Город Якутск» (около 30 км) и участок дороги «Нам» от границы города до границы МО «п. Жатай» (около 17 км) – к республиканскому бюджету. Финансирование дорожных работ в пределах ГО «Город Якутск» и МО «п. Жатай» осуществляется из муниципальных бюджетов. Принимая во внимание нормативные объёмы финансовых средств для дорожного строительства в различных бюджетах и требования к исполнению бюджетного законодательства, найти решение обозначенных выше проблем транспортной инфраструктуры долины Туймаада не представляется возможным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апробация новой методики расчётов нагрузки на дорожное полотно выявила её практическую применимость при оценке существующих и перспективных транспортных потоков по интенсивности движения и нагрузкам на дорожные одежды. Разработанная методика позволяет произвести расчёт реальной нагрузки на конструкцию автомобильной дороги для транспортного потока, состоящего из любого типа транспортных средств. Полученные данные приводятся к нагрузке нормативного приведённого легкового автомобиля. При этом параметры приведённого автомобиля могут быть выбраны применительно к ситуации на конкретной дороге или их сети. В первую очередь это касается его общего веса и загрузки виртуальными пассажирами. В то же время, при разработке методики определение реальной нагрузки от транспортных средств не являлось основной задачей. Основной целью было получение алгоритма расчёта, позволяющего связать данные транспортно-логистических корреспондентских матриц, имеющих в своей основе исключительно экономические критерии оценки (экономическая целесообразность), с конструктивными особенностями автодорог, которые в корреспондентских матрицах не учитываются. Например, если в построенной корреспондентской матрице определяется экономически обоснованная транспортная артерия, по которой будут перевозиться какое-то количество грузов конкретными типами транспортных средств, то предлагаемая методика позволяет опре-

делить соответствие конструкции дороги или дорог в этом транспортном коридоре спрогнозированному в корреспондентской матрице грузовому потоку и типу транспортных систем. Исходя из полученных расчётов, даются обоснованные рекомендации по коррекции логистических путей или капитальному ремонту/реконструкции выбранных транспортных путей, технологиям строительства. Также методика позволяет дать рекомендации по необходимым изменениям и оптимизации структуры действующего и перспективного парка автотранспортных средств (по грузоподъёмности, количеству осей, маршрутам движения и т. п.), организации транспортных потоков в зависимости от конструктивных особенностей автомобильных дорог, организации и размещению транспортно-логистических центров или баз (складирование, весовой контроль, погрузочно-разгрузочные работы, СТО, заправочные станции, паркинги, кемпинги и т. п.). Немаловажным свойством методики выступает возможность производства независимого автоматизированного расчёта и цифрового моделирования направленности и объёмов грузопассажирских перевозок в пределах городской улично-дорожной сети, с учётом её конструктивных особенностей.

На основе апробации разработанной методики при расчёте перспективной нагрузки на улично-дорожную сеть Городского округа «Город Якутск», которая возникнет после строительства мостового перехода через р. Лена, можно сделать следующие выводы:

1. Дорожная инфраструктура долины Туймаада не в состоянии обеспечить пропуск перспективных грузопотоков, которые будут поступать на левый берег р. Лена по мостовому переходу.

2. Реконструкция базовых автомобильных дорог и доведение их состояния и качества по пропускной способности и допустимым нагрузкам до уровня категории дорог 1б, в первую очередь в пределах границ Городского округа «Город Якутск» и МО «п. Жатай», невозможны по ряду объективных причин.

3. Единственно возможным решением подавляющей части возникающих проблем является строительство федеральной окружной автомобильной дороги, проходя-

щей в основном вне пределов долины Туймаада. В качестве наиболее перспективного направления предлагается трасса по так называемому «коренному берегу»: «мостовой переход левобережья–ФАД «Виллой»–Маганский тракт–РАД «Нам»–Якутская нефтебаза (п. Жатай)».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ivanova, A. E., Filippov, D. V. Creation background of the Yakutsk city intelligent transport system. Amazonia Investiga, 2019, Vol. 8, No. 23, pp. 419–430. [Электронный ресурс]: <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/download/886/827/> Доступ 07.02.2022.
2. Габышев М. В. Исследование температурного растрескивания асфальтобетонных покрытий // Сборник материалов Всероссийского форума «Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера» и Недели студенческой науки Автодорожного факультета СВФУ. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. – С. 92–97. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36522161&selid=36748529>. Доступ 07.02.2022.
3. Габышев М. В., Лебедев М. П., Степанов С. П., Сивцев П. В. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния дорожной одежды в условиях крайнего Севера // V Международная конференция-школа по химической технологии ХТ*16 // Сборник тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Том 3. – ВГТУ, 2016. – С. 163–164. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26265098>. Доступ 07.02.2022.
4. Габышев М. В. О возникновении температурных трещин в асфальтобетонном покрытии в условиях Крайнего Севера // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 60-летию со дня образования Якутского государственного университета (СВФУ). – СВФУ, 2016. – Том 1. – Секции 1–3. – С. 29–33. [Электронный ресурс]: [https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_ВНПХ_\(том_1\).pdf](https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_ВНПХ_(том_1).pdf). Доступ 07.02.2022.
5. Габышев М. В., Едисеев О. С. Анализ зависимости температурного растрескивания и модуля упругости асфальтобетонных покрытий // Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 11 (1023) – С. 29–37. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Доступ 07.02.2022.
6. Николаева Г. О., Соловьёв Д. Б. Характеристика процессов морозного пучения грунтов земляного полотна автомобильных дорог Центральной Якутии // Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 11 (1023). – С. 56–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Доступ 07.02.2022.
7. Николаева Г. О. Исследование влагопроводных свойств грунтов земляного полотна автомобильных дорог Центральной Якутии // Транспорт. – 2018. – № 6. – С. 347–351. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36905519>. Доступ 07.02.2022.
8. Шестернев Д. М., Острельдина Т. В. К методике исследований гидротермических деформаций на автомобильных дорогах криолитозоны // Наука и образование. – 2017. – № 1. – С. 57–62. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28856021>. Доступ 07.02.2022.
9. Atabekov, K. K., Nikolaeva, G. O., Sarymsakov, B. A., Maksimovich, K. Yu., Voinash, S. A., Kamenchukov, A. V., Sokolova, V. A. Decrease in average traffic speed and increase in harmful emissions of vehicles at unregulated pedestrian crossings in cities. Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1679, Iss. 5, 1679 052055. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/5/052055.
10. Каменчуков А. В., Николаева Г. О., Горшков Н. И., Ловцов А. Д. Оценка устойчивости откосов системы «земляное полотно – дорожная одежда» с нарушенной структурой // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2020. – Том 7. – № 4. [Электронный ресурс]: <https://t-s.today/05sats420.html>. Доступ 07.02.2022.
11. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O. Research on the Hydraulic Conductivity Properties of the Soil Subgrade of the Central Yakutia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, Vol. 1079, Chapter 1, 1079 022069. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/2/022069.
12. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O., Ukrainskiy, I. S. Improving the stability of high embankment slopes on weak foundations. E3S Web Conf., 2021, Vol. 244, XXII International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202124405018.
13. Rudov, S. E., Grigorev, I. V., Kunickaya, O. A., Druzyanova, V. P., Pekhutov, A. S., Ivanov, A. P., Ivanov, A. K., Okhlopova, M. K., Pankov, V. Yu., Borovikov, R. G. Specific features of accounting of state of the massive of the frozen soil grounds under cyclic loads. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25 (Suppl. 2), 2019, pp. 1–15. [Электронный ресурс]: <https://www.agrojournal.org/25/02s-23.pdf>. Доступ 07.02.2022.
14. Pankov, V. Yu. Assessment of the Throughput and Stability of Highways in the Permafrost Zone on the Example of the City of Yakutsk. Trans Tech Publications Inc., Switzerland, Advanced Engineering Forum, 2021, Vol. 45.
15. Геология СССР. Том XVIII. Западная часть Якутской АССР. Часть I. Геологическое описание. Книга I / Под ред. академика А. В. Сидоренко. – М.: Недра, 1970. – 536 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/geologiya-sssr-tom-xviii-zapadnaya-chast-yakutskoy-assr-chast-1-geologicheskoe-opisanie-kniga-1_33bb3c64d1a.html. Доступ 07.02.2022.
16. Карта Мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири / Под ред. академика М. П. Мельникова. – 1984.
17. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / Под ред. академика М. П. Мельникова. – Новосибирск: Наука, 1984. – 189 с. ●

Информация об авторе:

Панков Владимир Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, магистр управления на транспорте, доцент Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия, pankov1956@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022, актуализирована 28.01.2022, одобрена после рецензирования 18.02.2022, принята к публикации 22.02.2022.

От редакции. Публикуемая статья открывает возможности для научной дискуссии, в том числе с учётом мнения автора о необходимости разработки и/или уточнения ряда параметров нормативных документов в части автодорожного строительства, сформулированных им предложений в части расчёта нагрузки на дорожное полотно и по поводу сопряжённых с проектом строительства мостового перехода через р. Лена вопросов развития обходов и улично-дорожной сети города Якутска. Публикации на эту тему могут быть продолжены при поступлении мнений, альтернативных высказанным автором или, напротив, в их развитие.





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1:656.225:629.45/46

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-11>

Управление поездообразованием. Часть 1

*Дмитрий Юрьевич Левин*

АО «НИИАС», Москва, Россия.

✉ levindu@yandex.ru.

ДМИТРИЙ ЛЕВИН

АННОТАЦИЯ

Долгосрочные нормативно-технологические документы, касающиеся поездообразования, часто настолько далеки от изменяющейся, реально складывающейся эксплуатационной обстановки, что формируется составов больше, чем своевременно можно обеспечить локомотивами и отправить со станции, участки перенасыщены поездами, станции работают с избытком вагонного парка и т.д. Такие непредсказуемые ситуации вызывают непроизводительные задержки поездов, увеличивают срок доставки грузов, снижают использование пропускных, провозных и перерабатывающих способностей железных дорог. В то же время сокращение сроков действия нормативно-технологических документов позволяет значительно повысить эффективность оперативного управления перевозочным процессом. Цель статьи показать, как оперативное управление поездообразованием вместо пассивного неуправляемого процесса накопления составов на сортировочных станциях расширяет возможности плана формирования поездов, ликвидирует

неопределенность и создает оптимальные условия поездной, сортировочной и грузовой работы.

Вносимые на основе обобщения целого ряда результатов более ранних авторских исследований и публикаций и вновь сформулированных предложений на обсуждение изменения в управлении поездообразованием позволят принципиально по-новому оперативно руководить перевозочным процессом: формировать такое число составов, которое своевременно будет обеспечено локомотивами и «нитками» графика движения поездов; со станций формирования отправлять такое число поездов, которое не приведет к перенасыщению участков поездами; обеспечить поступление на сортировочные станции такого числа поездов, которое позволит работать в оптимальном режиме; обеспечить на станциях смены локомотивов парность прибытия четных и нечетных поездов; при затруднениях работы грузовых станций – своевременно помогать подборкой вагонов и т.д. [1].

Ключевые слова: железная дорога, управление поездообразованием, нормативно-технологические документы, непроизводительные потери, оптимальные условия работы, оперативное управление перевозочным процессом.

Для цитирования: Левин Д. Ю. Управление поездообразованием. Часть 1 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 96–104. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-11>.

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

Анализ современного состояния

В условиях широкой цифровизации на железных дорогах активно внедряется процессный подход, позволяющий оптимизировать перевозочный процесс и повысить эффективность системы управления [2–4]. Рассматриваемая в статье технология управления поездобразованием является одним из направлений эффективного использования новых технических средств и программного обеспечения процессной модели перевозочного процесса.

Некратность и несоответствие поступающих групп вагонопотоков нормам длины и веса поездов вызывают необходимость накопления вагонов на состав. Продолжительность накопления состава зависит от мощности вагонопотоков, входящих в назначение, и размеров формируемых составов. Затраты времени накопления составов при расчёте плана формирования поездов определяют эффективность выделения вагонопотока в самостоятельное назначение [5–6].

Продолжительность накопления составов составляет значительную часть общего времени нахождения транзитных вагонов с переработкой на сортировочных и участковых станциях. При своевременной переработке вагонопотоков на технических станциях (работе в оптимальном режиме) на простой вагонов под накоплением приходится более 50 % времени их нахождения на станции. В современных условиях, когда межоперационные простои в общем времени нахождения транзитных вагонов с переработкой на станции составляют до 40 %, на простой вагонов под накоплением приходится также примерно 40 % [7].

Такая статистика свидетельствует о большом влиянии простоя вагонов под накоплением на выполнение срока доставки грузов и эффективность работы сортировочных станций. Этим определяется большое практическое значение необходимости дальнейшей оптимизации процесса накопления [6].

Для ускорения накопления составов предлагались следующие мероприятия: обеспечение приоритета роспуска составов с вагонами, завершающими накопление составов; согласование подвода крупных групп вагонов на назначения плана формирования; календарное планирование погрузки не маршрутизируемых грузов укрупнёнными группами;

завершение грузовых операций и включение вагонов в накапливаемые составы; ускорение передачи вагонов из одной сортировочной системы в другую (на двусторонних сортировочных станциях). Но действенность этих мероприятий оказалась невелика.

Процесс накопления составов имеет стохастическую природу, то есть моменты времени завершения накопления никогда не повторяются, а график движения поездов – детерминированный. В результате этого противоречия сформированные составы в парках отправления станций сначала в среднем простаивают 2 часа в ожидании поездных локомотивов, а потом ещё почти 2 часа – в ожидании отправления со станции. При пассивном протекании вероятностных процессов накопления составов неизбежно возникает несогласованность с другими процессами. Например, образуется больше поездов, чем пропускная способность прилегающих участков и направлений, возникают перенасыщение участков и заторы поездов. На станции назначения отправляется больше поездов, чем их перерабатывающая способность. Возникает избыток вагонного парка, вызывающий межоперационные простои [6].

Как ранее отмечалось, необходима гибкая оперативная система своевременной корректировки плана формирования, которая реагировала бы на колебания размеров вагонопотоков, возможности обеспечения сформированных составов локомотивами и бригадами, вывоза поездов со станций, необходимость перераспределения сортировочной работы между станциями и т. д. В этой ситуации анахронизмом является автоматизированная система слежения за строгим выполнением плана формирования. Таким образом, пассивный, неуправляемый процесс накопления составов вызывает большое число негативных последствий и неоправданных затрат [6].

Зарубежная практика поездобразования [8]

В Европе и США развиваются методы специализации поездов. Большое внимание уделяется учёту вагонопотоков. В разных странах большинство специалистов пришло к выводу, что схемы специализации поездов следует основывать на отчётных данных о структуре вагонопотоков за прошлые периоды. Это иллюстрируется некоторыми фактами из недавней истории железных дорог.



Например, исторически в Великобритании вагонопотоки учитывались 2–4 раза в год за одну неделю сезона, а статистика по объёму грузоперевозок и соблюдению графика движения¹ в настоящее время ведётся ежеквартально или каждые четыре недели. Подобный учёт ведётся и в США.

Особенно тщательно был организован учёт вагонопотоков в Германии, осуществлявшийся по двум позициям:

1. На крупных сортировочных станциях с переработкой более 2000 вагонов в сутки вагонопотоки учитываются ежемесячно в течение одной недели – по назначениям плана специализации, а также по выделяемым группам.

2. Для каждой из 152 выделенных сортировочных станций учитываются вагонопотоки между «местным районом» этой станции и «районами назначения» остальных 151 станций. В результате образуется «шахматка» струй гружёных вагонопотоков между выделенными сортировочными станциями.

Схемы специализации предусматривали использование отчётных данных о вагонопотоках: в США – ниже средних с назначением дополнительных поездов при увеличении грузопотоков; в Великобритании – на средние вагонопотоки; в Германии также на средние вагонопотоки с выделением «основных» поездов по минимальным вагонопотокам. Во Франции выделяются «постоянные» поезда по потокам ниже средних с включением «факкультативных» поездов при увеличении потоков.

Схемы специализации определяются эмпирическим путём на основе опыта предыдущих лет. Каких-либо дорожных или тем более сетевых расчётов специализации поездов не проводится. Однако, перед введением схемы специализации она детально рассматривается на уровне руководства железных дорог.

В то же время существуют некоторые положения, являющиеся основой для выбора схем специализации. Вот, например, какие положения были разработаны для использования на дорогах Американской ассоциацией железнодорожных инженеров:

1. Обеспечивать подборку вагонов одного и того же назначения как можно раньше

в группы для следования таких групп через попутные сортировочные станции (принцип «предварительной сортировки»).

2. Сортировка всех гружёных и дорожных вагонов в соответствии с планом специализации.

3. Организация осмотра и ремонта вагонов до их подборки и постановки в поезд во избежание отцепок в пути следования (технический и коммерческий осмотр вагонов в парках прибытия сортировочных станций).

4. Жёсткий контроль за соблюдением плана специализации поездов, выделение для этого специального агента на дорогах.

Из этих правил особое значение на дорогах США придавалось принципу «предварительной сортировки». Укрупнение групп на начальных этапах, несомненно, облегчает работу попутных сортировочных станций, особенно безгорочных.

Получил развитие принцип концентрации сортировочной работы. Признано, что эксплуатация небольшого числа крупных сортировочных станций обходится дешевле, чем эксплуатация многих малых сортировочных устройств. Происходящее при этом объединение вагонопотоков способствует увеличению числа формируемых на дальние расстояния одnogруппных поездов. Поэтому ведётся строительство крупнейших сортировочных станций² [8].

Вопросам планирования поездообразования и работе сортировочных станций в современных условиях посвящено большое количество научных и исследовательских работ (например, [9–11]), анализу которых должно быть посвящено отдельное исследование.

Постановка задачи: как изменить положение?

Планирование состава образования и пропуска поездов по участкам – две ключевые задачи оперативного управления поездной работой на железных дорогах (рис. 1). Выходная информация каждой из этих задач является входной информацией для другой задачи. Совместное итеративное решение этих задач значительно раздвигает временные рамки оперативного планирования поездной работы [12].

¹ Freight rail usage and performance. Office of Rail and Road. [Электронный ресурс]: <https://dataportal.orr.gov.uk/statistics/usage/freight-rail-usage-and-performance/>. Доступ 19.01.2022.

² См., например: Fernzüge rollen dem Fahrplan hinterher. Stern, 24.01.2008. [Электронный ресурс]: <https://www.stern.de/politik/deutschland/deutsche-bahn-fernzuege-rollen-dem-fahrplan-hinterher-3227564.html>. Доступ 19.01.2022.



Рис. 1. Блок-схема технологического процесса оперативного управления поездной работой [выполнено автором].

Распутывать этот «клубок» целесообразно начинать с увеличения глубины планирования составления. А какая глубина составления должна быть, и чем она определяется?

При распространённой на сети железных дорог безвызывной системе явки локомотивных бригад до 25 % из них выходят на работу, когда на станциях нет сформированных составов и, наоборот, для сформированных составов своевременно нет локомотивных бригад. Это объясняется тем, что расписание явки локомотивных бригад на работу составляется на 1 месяц. Нарядчик локомотивного депо планирует выход локомотивных бригад по расписанию явки в среднем за сутки, когда плана составления ещё нет [1; 12; 13].

Потребность увеличения глубины планирования составления необходима при сменном-суточном планировании поездной работы. При отсутствии необходимой глубины планирования составления экспертно определяются размеры движения поездов на участках, на основании которых на предстоящие сутки локомотивным депо даются задания на содержание эксплуатируемого парка локомотивов, соседним дорогам сообщается планируемый обмен поездами по стыковым пунктам, а дежурно-диспетчерским сменам даётся задание по пропуску и передаче поездов. В связи с недостоверной исходной

информацией возникают неоправданные дополнительные затраты [6].

Для решения этих и многих других вопросов необходима глубина планирования составления в 24–30 часов. На использование АСУ для оперативной организации вагонопотоков указывалось в работе [14]: «В связи с разработкой и внедрением АСУ появилось мнение о том, что план формирования должен быть не стабильным, а гибким и корректироваться в зависимости от складывающейся оперативной обстановки с вагонопотоками. Такие корректировки предлагается осуществлять не только на сутки, но даже для конкретной ситуации внутри суток».

К сожалению, для реализации справедливого предложения об оперативной организации вагонопотоков тогда не было необходимых возможностей. Их и сегодня ещё нет, надо разрабатывать автоматизированные системы. Необходимые для этого технические средства заключаются в наличии достоверного подхода поездов с указанием назначения вагонов, глубины составления не менее 24–30 часов и возможности заблаговременного (до прибытия вагонов на станцию) моделирования накопления составов различных назначений.

Заблаговременное моделирование накопления составов позволит:



- создавать систему управления поездообразованием;
- своевременно выявлять назначения поездов, требующие временной отмены;
- своевременно выявлять назначения поездов, невключённые в план формирования, которые целесообразно временно назначить;
- регулировать своевременное обеспечение составов локомотивами и локомотивными бригадами и при их нехватке вводить формирование более дальних поездов;
- своевременно обеспечить поездами «нитки» графика;
- регулировать загрузку сортировочных станций и при необходимости перераспределять сортировочную работу;
- регулировать насыщение участков поездами и при необходимости вводить формирование более дальних поездов;
- при предоставлении «окон» и других перерывах движения поездов вводить формирование более дальних поездов;
- распределять поездопотоки на разветвлённых полигонах и при необходимости формировать поезда другого веса и длины;
- использовать регулировочные мероприятия для сохранения эффективности назначений поездов (при уменьшении вагонопотока);
- временно вводить групповые поезда с подборкой вагонов для оказания помощи грузовым станциям [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим этапы достижения планирования составообразования 24–30 часов. При «ручном» планировании составообразования маневровым диспетчером достигалась глубина на 3–4 часа, что часто не позволяло своевременно обеспечивать составы локомотивами. В начале 1980-х годов с помощью автоматизированной системы управления сортировочной станции (АСУСС) начали получать «План работы станции», который выдавал план составообразования на 6–8 часов. Недостоверность машинного прогноза подхода поездов к станции искажала планирование составообразования. Отклонения фактического прибытия поездов, например, на станцию Орехово-Зуево, от машинного прогноза составляли от –2 до +8 часов. Машинный прогноз, основанный на нормативах времени хода поездов по участкам и простоя на станциях, не обеспечивал достоверность прогноза подхода поездов. Стало очевидно, что необходимо

участие поездного диспетчера в планировании подвода поездов на станцию. В начале 2000-х годов в дорожном центре управления перевозками (ДЦУП) Московской дороги организовали передачу в автоматизированное рабочее место (АРМ) поездного, локомотивного и дорожного диспетчеров информации из АСУСС станции Орехово-Зуево. Но прежде чем дополнительно загрузить поездного диспетчера, его освободили от ручного заполнения приложения к графику исполненного движения, автоматизировав этот процесс. Высвободили более 20 % рабочего времени поездного диспетчера. Для того чтобы получить план составообразования на 8 часов, оказалось достаточно планировать подход поездов на 1–1,5 часа [13].

Для увеличения глубины планирования составообразования более 8 часов необходимо увеличить время прогноза подхода поездов. Практика показала, что так можно довести глубину планирования составообразования до 15 часов. Причём с увеличением продолжительности прогноза подхода поездов снижается достоверность плана составообразования. Поэтому для получения глубины планирования составообразования свыше 15 часов необходимо переходить от выполнения расчётов для отдельно взятых сортировочных станций к комплексному выполнению расчётов для сортировочных станций дороги или региона сети в Информационно-вычислительных центрах железных дорог. Тогда расчёты будут выполняться в два этапа. На первом этапе расчёты выполняются также, как и раньше, отдельно для каждой сортировочной станции. План составообразования на сортировочных станциях – не что иное, как дальний подход к другим сортировочным станциям. Если на втором этапе продолжить моделирование процесса накопления на основе дальнего подхода, то можно довести глубину планирования составообразования до 24–30 часов

Такая глубина позволит ещё до прибытия вагонов на станцию моделировать процесс накопления всех возможных назначений поездов, что позволит оптимизировать число формируемых составов, в соответствии с колебаниями размеров вагонопотоков, своевременно обеспечивать их поездными локомотивами, «нитками» графика движения, созданием оптимальных режимов работы участков, сортировочных и грузовых станций.

К концу 2021 года на 56 сортировочных станциях планировался ввод в эксплуатацию модулей планирования и контроля исполнения цифровой железнодорожной станции [16]. В рамках этого программного комплекса может быть реализовано оперативное управление поездообразованием.

Оперативное управление поездообразованием значительно расширяет функции плана формирования поездов и позволит диспетчерскому аппарату вместо фиксирования прошедших и происходящих событий управлять предстоящей эксплуатационной работой (рис. 2).

Сокращение сроков действия плана формирования позволит управлять поездообразованием и раздвинуть рамки организации вагонопотоков (увеличить число решаемых задач). План формирования не будет ограничиваться только установлением для станций назначения формируемых поездов, а сможет обеспечивать «нити» графика поездами, регулировать загрузку участков и станций, станет исходной информацией для регулирования локомотивного парка и использования локомотивных бригад. На смену стихии и самотёка движения поездов придёт оптимально управляемый перевозочный процесс.

Современной информации в реальном времени для управления недостаточно (рис. 2). Диспетчерский аппарат с её помощью может лишь фиксировать и анализировать события. Отсюда видно, что информации в реальном времени для управления недостаточно. Нет предмета для управления – нечем управлять. Таким предметом для управления могут стать предстоящие события. Следовательно, для того, чтобы повысить эффективность работы поездных диспетчеров, их надо поставить на несколько часов впереди событий. Попросту говоря, чтобы у них появился «предмет» управления. Вот почему движение грузовых поездов происходит в условиях неопределённости, когда грузовой поезд отправляется с начальной станции по графику, а на конечную станцию участка он прибывает в некотором диапазоне времени [17]. Как откровенно выразился на одном из совещаний ещё в 1935 году нарком путей сообщения Л. М. Каганович: «...*графики и расписания существуют только на бумаге, а на деле поезда ходят по «закону самотёка»*» [18]. Это актуально и сегодня. Вот почему фактическое время прибытия поездов



Рис. 2. Этапы развития диспетчерского управления (выполнено автором).

на сортировочные станции значительно отличается от компьютерного прогноза по нормативам графика.

Обеспечение составов локомотивами

Управление поездообразованием станет основой эффективного регулирования локомотивного парка. При регулировании локомотивного парка критериями оптимизации целесообразно использовать: резервный пробег локомотивов, их перепробег между плановыми видами ремонта, своевременная постановка локомотивов на техническое обслуживание и ремонт, простой готовых к отправлению составов, сокращение объёма переработки вагонов на станции и несвоевременный приём поездов.

Целевой функцией может быть минимизация: простоя составов на участковых станциях в ожидании отправления, резервного пробега локомотивов, простоя локомотивов на станциях в ожидании составов. Можно учитывать неснижаемое наличие локомотивов на технических станциях и ограничения эксплуатируемого парка локомотивов [13].

1. Исходными данными являются:

а) нормативные графики движения поездов на участках обращения локомотивов или план пропуска поездов, нормативы времени оборота (нахождения) локомотивов на станциях, технологическое время от момента окончания накопления состава до отправления со станции;



Таблица 1

Балансовая таблица прибытия и отправления поездов на станциях участка
обращения локомотивов [составлено автором]

Приб.		Станция А		Станция Б		Станция В		Итого	Регулировочный разрыв
		Отпр.	Приб.	Отпр.	Приб.	Отпр.			
Станция А	Отпр.	—	—	6	—	45	—	51	+11
	Приб.	—	—	—	8	—	54	62	
Станция Б	Отпр.	8	—	—	—	9	—	17	-5
	Приб.	—	6	—	—	—	6	12	
Станция В	Отпр.	54	—	6	—	—	—	60	-6
	Приб.	—	45	—	9	—	—	54	

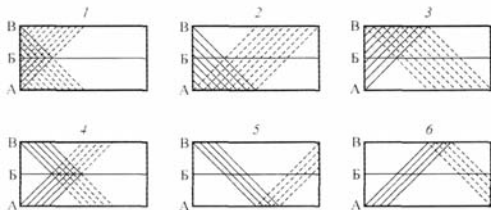


Рис. 3. Последовательность прикрепления составов к «ниткам» графика на станциях участка обращения локомотивов [выполнено автором].

б) план постановки локомотивов на различные виды технического обслуживания, текущего и капитального ремонта (на основе задания или норм межремонтных периодов и пробегов), нормативное время их выполнения и план выхода локомотивов;

в) дислокация поездов, составов, локомотивов на перегонах, станциях и депо на начальный момент планирования;

г) план составообразования на станциях участка обращения локомотивов [12].

2. В соответствии с планом составообразования балансируется прибытие и отправление поездов по всем станциям участка обращения локомотивов на планируемый период (сутки, смена, любой период времени, на который имеется исходная информация) (табл. 1).

3. Моменты времени завершения накопления составов ($t_{\text{нак}}$) на станциях с учётом технологического норматива на подготовку состава к отправлению ($t_{\text{т}}$) прикрепляют к ближайшей «нитке» графика движения (t_n) из условия:

$$t_n \geq t_{\text{нак}} + t_{\text{т}} \quad (1)$$

Прикрепление начинается со станций с наименьшим числом формируемых составов и далее по мере возрастания числа формируемых составов на станциях. В примере из табл. 1 последовательность выглядит так: станция Б, станция А, станция В (рис. 3).

4. По заполненным «ниткам» графика движения, к которым прикреплен состав, предварительно планируется пропуск поездов и прибытие локомотивов на станции.

5. К «ниткам» графика движения, по которым планируется отправление составов, прикрепляются запланированные к прибытию локомотивы из условия:

$$t_n \geq t_{\text{пост}} + t_{\text{н}} \quad (2)$$

где $t_{\text{пост}}$ – время прибытия локомотива на станцию или выхода из ремонта;

$t_{\text{н}}$ – технологическое время оборота (нахождения) локомотива на станции.

Прикрепление локомотивов к «ниткам» графика движения начинается со станций, имеющих избыток локомотивов, затем – имеющих их недостаток, в соответствии с табл. 1. Если таких станций несколько, то очередность устанавливается от станции с наименьшими размерами отправления к станции с максимальными размерами отправления. т.е. очередность прикрепления для рассматриваемого случая: станция А, станция Б, станция В.

6. На станциях избытка локомотивов перед принятием решения о прикреплении локомотива к «нитке» графика движения рассматривается целесообразность отправления его резервом:

а) если все последующие локомотивы удовлетворяют условию (1), то планируется отправление локомотива резервом;

б) если условие (2) не выполняется для одного или нескольких локомотивов, то намеченные для них составы перекрепляются к более поздним «ниткам» графика движения. Если в этом случае условие (2) выполняется, то сокращение локомотиво-часов вызывает дополнительные затраты вагоно-часов (табл. 2). Поэтому необходимо выполнение технико-экономических расчётов:

$$\sum N(t'_n - t_n)e_{\text{в-ч}} \leq \sum L\Delta t_{\text{лок}}(e_{\text{л-ч}} + e_{\text{бр-ч}}), \quad (3)$$

где N – число вагонов в составах, которые перекрепляются к другим «ниткам» графика движения;

Таблица 2

Результаты прикрепления составов, «ниток» графика движения
и локомотивов [составлено автором]

План составообразования	«Нитки» графика движения		Прибытие локомотивов		Затраты составо-часов		Затраты локомотиво-часов	
	Первоначально	После перекрепления	Первоначально	После перекрепления	Первоначально	После перекрепления	Первоначально	После перекрепления
8:46	9:54	9:54	7:35	7:54	1,133	1,133	2,333	2,000
9:19	10:18	10:18	7:54	8:09	1,000	1,000	2,400	2,150
9:54	10:58	10:58	8:09	8:31	1,067	1,067	2,812	2,450
10:37	11:40	11:40	8:31	8:58	1,050	1,050	3,150	2,700
11:08	12:18	12:18	8:58	9:35	1,167	1,167	3,333	2,717
11:26	12:32	12:32	9:35	9:56	1,100	1,100	2,950	2,600
11:49	12:51	13:39	9:56	11:18	1,033	1,667	2,933	2,183
12:37	13:47	14:04	11:18	11:35	1,167	1,450	2,483	2,483
13:09	14:19	14:36	11:35	11:57	1,167	1,450	2,733	2,650
Сумма					9,884	11,084	25,127	21,933

L – число локомотивов, у которых сокращается простой в ожидании отправления;

$t'_n - t_n$ – дополнительное время простоя вагонов из-за перекрепления состава к более поздней «нитке» графика движения;

$\Delta t_{\text{лок}}$ – сокращение нахождения локомотива на станции из-за перекрепления к более ранней «нитке» графика движения;

$e_{\text{в-ч}}, e_{\text{л-ч}}, e_{\text{бр-ч}}$ – расходные ставки стоимости соответственно вагоно-ч, локомотиво-ч и бригадо-ч. [12].

В табл. 2 приведены результаты примера прикрепления и перекрепления составов, «ниток» графика движения и локомотивов. Следует учитывать, что дополнительные затраты вагоно-ч возникают только у тех составов, которые перекреплены, а экономия локомотиво-ч возникает при отпращивании локомотивов резервом и распространяется на все последующие локомотивы до конца периода планирования. Поэтому фрагмент примера, приведённый в табл. 2, полностью отражает затраты вагоно-ч, а для получения всей экономии локомотиво-ч надо продолжить табл. 2 до конца периода планирования.

в) если условия (2) и (3) не выполняются, локомотив планируется под состав и прикрепляется к «нитке» графика движения.

7. На станциях, на которых число отправляемых поездов больше, чем прибытие локомотивов с поездами, но число локомотивов, следующих резервом через станцию, превы-

шает их недостаток, используется вышеизложенная методика. При необходимости изменения прикрепления составов к «ниткам» графика движения (для сокращения затрат локомотиво-ч) условие (3) должно дополнительно учитывать все изменения, которые произойдут не только на одной рассматриваемой станции.

8. После выполнения пунктов 5 и 6 для сокращения затрат локомотиво-ч целесообразно рассмотреть эффективность более позднего (своевременного) прибытия локомотивов резервом, из-за более раннего отправления которых пришлось некоторые составы перекреплять к более поздним «ниткам» графика движения:

$$\sum_{\text{ст. Б}} L \cdot \Delta t_{\text{лок}} (e_{\text{л-ч}} + e_{\text{бр-ч}}) + \sum_{\text{ст. А}} N (t'_n - t_n) \cdot e_{\text{в-ч}} \geq \sum_{\text{ст. А}} N (t'_n - t_n) \cdot e_{\text{в-ч}}.$$

9. На станциях недостатка локомотивов возможность прикрепления определяется условием (2). Если условие (2) не выполняется, то рассматривается целесообразность перекрепления составов к более поздним «ниткам» графика движения или по условию (2) проверяется прикрепление локомотива к следующей «нитке» с прикреплённым составом, а пропущенная «нитка» графика движения остаётся для локомотива, который поступит резервом.

10. После завершения прикрепления составов, «ниток» графика движения и локомотивов на всех станциях участка рассматриваются возможности уменьшения затрат





составо-ч и локомотиво-ч за счёт перезакрепления [17].

Окончание публикации в следующем номере журнала

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левин Д. Ю. Логистика перевозочного процесса железных дорог. Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1–2 (92–93). – С. 21–27. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46108214>.
2. Кобзев С. А. Инструмент повышения эффективности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 4–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841041>. Доступ 19.01.2022.
3. Шило А. Н. Об основных результатах описания бизнес-процесса «транспортно-логистическая деятельность» // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 8–15. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841042>. Доступ 19.01.2022.
4. Рахимжанов Д. М. Выстраивая сквозной процесс перевозочной деятельности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 16–19. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841043>. Доступ 19.01.2022.
5. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах: Монография – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 443 с. [Электронный ресурс]: <https://umczdt.ru/books/1196/39298/>. Доступ 19.01.2022.
6. Шапкин И. Н., Левин Д. Ю. Оптимальное управление поездообразованием на железнодорожном транспорте // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России: Труды международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / Отв. редактор А.Ф. Бородин, сост. Р. А. Ефимов. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – С. 175–191. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46552761>. Доступ 19.01.2022.
7. Левин Д. Ю. Обеспечение ниток графика движения поездами // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С. 14–17. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43873900>. Доступ 19.01.2022.
8. Левин Д. Ю. История техники. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: Уч. пособие // М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – 2014. – 468 с. ISBN 978-5-89035-755-7. (Дополнительные электронный ресурс: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27908703>).
9. Xue, Feng; Xiaochen, Ma; Hu, Zuoan. Building a Railway Logistics Center Based on Freight Stations and Marshalling Yards. International Conference of Logistics Engineering and Management, September 2014. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Feng-Xue-11/publication/301430092_Building_a_Railway_Logistics_Center_Based_on_Freight_Stations_and_Marshalling_Yards/links/5ff41ec2299bf140888c85da/Building-a-Railway-Logistics-Center-Based-on-Freight-Stations-and-Marshalling-Yards.pdf. Доступ 19.01.2022. DOI: 10.1061/9780784413753.179.
10. Wenliang, Zhou; Xia, Yang; Jin, Qin; Lianbo, Deng. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis. The Scientific World Journal, Vol. 2014, Article ID 251315, 13 p. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/251315/>. Доступ 19.01.2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/251315>.
11. Khoshniyat, Fahimeh. Simulation of Planning Strategies for Track Allocation at Marshalling Yards. Masterarbeit, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012, 64 p. [Электронный ресурс]: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491060.1550158510!/X12_032_report.pdf. Доступ 19.01.2022.
12. Левин Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. – М.: Маршрут, 2005. – 759 с.
13. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: Монография. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2008. – 625 с. ISBN: 978-5-89035-547-8.
14. Угрюмов А. К., Грошев Г. М., Кудрявцев В. А., Платонов Г. А. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
15. Левин Д. Ю. Диспетчеризация вагонопотоков: «управление по целям» // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 136–150. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1412>. Доступ 19.01.2022.
16. Хижняк А. В. Прогноз для станции. «Гудок» № 496 (26995) от 11 августа 2020 г. [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1531032&archive=2020.08.11>. Доступ 19.01.2022.
17. Левин Д. Ю. Технологическая модернизация системы управления перевозками на железнодорожном транспорте: Дисс... д.т.н. – Москва, 2015. – 310 с.
18. Васильев И. И. Графики и расчёты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Желдориздат, 1941. – 576 с.
19. Левин Д. Ю. Эксплуатация железных дорог в рыночных условиях // Экономика железных дорог. – 2019. – № 10. – С. 73–80. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41195841>. Доступ 19.01.2022.
20. Левин Д. Ю. Управление технологией перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. – М.: Инфра-М, 2017. – 286 с. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008686803>. Доступ 19.01.2022.
21. Левин Д. Ю. Потребности в перевозках и возможности железных дорог. – М.: Инфра-М, 2017. – 245 с.
22. Левин Д. Ю. Эксплуатационная работа железных дорог: аксиомы и закономерности. – М.: Инфра-М, 2017. – 330 с.
23. Левин Д. Ю. Организация местной работы. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2013. – 612 с. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, главный эксперт, АО «НИИАС», Москва, Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.09.2020, одобрена после рецензирования 25.01.2021, актуализирована 19.01.2022, принята к публикации 24.01.2022.

От редакции: Обзорная статья профессора, доктора технических наук Дмитрия Левина представляет собой авторское обобщение и новое осмысление более ранних трудов учёного. Учитывая многолетний опыт автора в разработке темы эксплуатации железных дорог, в том числе отражённый в многочисленных публикациях, работа, на наш взгляд, представляет большой интерес и практическую ценность, тем более что при стремительно растущих объёмах железнодорожных перевозок, проблема управления поездообразованием более чем актуальна.



ИСТОРИЯ СУХОПУТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ 106

Возникновение рельсового транспорта и его дальнейшая эволюция вплоть до современного этапа. Основные вехи совершенствования железнодорожной инфраструктуры и взаимовлияние экономических, технических и технологических процессов. Окончание статьи, публикация которой была начата в прошлом номере журнала.

ГАЛЕРЕЯ ИМЁН 113

Иван Алексеевич Каблуков и его вклад в развитие физики и химии. Научные достижения и преподавательская деятельность, включая работу в Императорском Московском техническом училище, ныне Российском университете транспорта, и Московском университете (ныне – МГУ им. М. В. Ломоносова).

КОЛЕСО ИСТОРИИ



КАК ХОТЕЛИ УЛУЧШИТЬ УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫМИ ДОРОГАМИ 110 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД: ПРОДОЛЖЕНИЕ 120

Вторая часть публикации доклада Николая Павловича Верховского по книге «Железнодорожная неразбериха». В центре внимания – аспекты социальной жизни, вознаграждения и режима труда и отдыха железнодорожников. Окончание – в следующем номере.

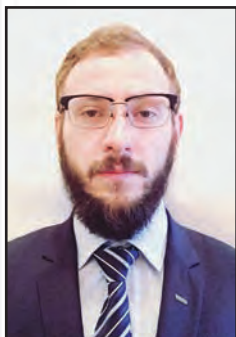


НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.025

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-12>

История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 2

*Алексей Дмитриевич Разуваев**Российский университет транспорта, Москва, Россия.**✉ razuvaevalex@yandex.ru.*

Алексей РАЗУВАЕВ

АННОТАЦИЯ

Во второй части статьи (первая была опубликована в прошлом номере журнала) анализируется история появления рельсового пути, а также эволюция подрельсового основания железных дорог, включая обзор использовавшихся для этого материалов.

Отдельный раздел посвящён становлению железных дорог в России.

Делаются краткие выводы в отношении важности историко-экономического аспекта развития сухопутной транспортной инфраструктуры.

Значимость рассмотрения данного вопроса высока при ведении комплексных исследований в целях экономической оценки и прогнозирования стратегического развития транспортной инфраструктуры на современном этапе.

Ключевые слова: сухопутный транспорт, рельсовые пути сообщения, инфраструктура железных дорог, социально-экономическое развитие, экономическая история, исторический анализ.

Для цитирования: Разуваев А. Д. История развития сухопутной транспортной инфраструктуры: техническая база и экономические аспекты. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-12>.

*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.*

Возникновение рельсового пути и эволюция подрельсового основания

Появление рельсового пути – результат закономерного и эволюционного по своему характеру процесса, связанного с желанием человека перемещаться быстрее, безопаснее, с наименьшими затратами энергии и с возможностью перевозки тяжёлых грузов.

Профессор К. Я. Загорский в работе [1, с.10] отмечал, что «Перевозка на суше требует более значительных и трудных приспособлений: здесь, кроме подвижного состава и движущей силы, нужно создать и самый путь».

Важными предпосылками создания рельсового пути (пути по колее и по направляющим), имеющими в итоге определяющее экономическое значение, явились следующие факторы [2–5]:

- предотвращение втапливания колес подвижного состава (на начальных этапах развития пути – повозок и телег) в грунт;

- минимизация сил трения, а значит и меньшая необходимость в прикладываемой силе (при варианте металлические колёса и рельсы).

Конструкция рельсового пути предполагает наличие направляющих – рельс, полозьев, лежней. Изначально, в античные времена, одним из прообразов рельсового пути был древнегреческий диолк – каменная дорога для перевозки кораблей через Коринфский перешеек. При этом, помимо волока кораблей для

военных нужд, по нему перемещали торговые суда и товары на тележках (это в очередной раз демонстрирует экономическую подоснову создания подобного пути). Некоторые другие древнегреческие каменные колёйные дороги имели углубления 50 мм и ширину колеи по внешним граням углублений 1600 мм [6]. Похожие каменные колеи, помимо Греции, найдены в странах Европы и Америки и имеют конструкционную схожесть.

Значительный эволюционный скачок в развитии рельсового пути относят к XV–XVI векам. В этот период в шахтах Германии и соседних географических регионах использовались направляющие пути из дерева. По ним перемещались вагонетки, колёса которых были снабжены гребнями (ребордами).

В некоторых регионах Англии деревянные рельсовые пути для вагонеток были известны со второй половины XVI века, а в XVII веке они получили широкое распространение в горнодобывающих районах¹ для перевозки угля по шахтам и доставки его к рекам и каналам, основным в тот период магистральным путям транспортировки массовых грузов² [7, с. 256]. Вагонная дорога для перевозки угля на конной тяге между посёлками Стрелли и Уоллатон рядом с Ноттингемом, по мнению

¹ History of railways in Great Britain. [Электронный ресурс]: <https://www.sinfin.net/railways/railhist.html>. Доступ 11.06.2021.

² Coal Mining and Railways in the North East. [Электронный ресурс]: <https://englandsnortheast.co.uk/coal-railways-north-east/>. Доступ 11.06.2021.



Рис. 1. Конструкция верхнего строения пути «чугунный колёспровод». [Электронный ресурс]: <https://umcздт.ru/news/demohtml/80.html>. Доступ 11.06.2021.



Рис. 2. Изображение деревянного лежня с железной накладкой с закраиной (уголковый рельс).
[Электронный ресурс]: http://www.rzd-expo.ru/history/history_of_railway_track/. Доступ 11.06.2021.

исследователей, считается первой наземной рельсовой дорогой, выполненной из дерева³.

В России в 1755 году на рудниках Алтая был построен узкоколейный путь с деревянными рельсами, по которым двигались деревянные вагонетки с системой ведущего троса. А в 1788 году в Петрозаводске на Александровском заводе появляется «чугунный колёсопровод» – первая в нашей стране промышленная железная дорога: единой транспортной линией были связаны основные цеха пушечного завода (рис. 1).

После длительной истории сооружения и эксплуатации рельсовых путей на рудниках и заводах, то есть их исключительно промышленной специализации, получили распространение пассажирские дороги с конной тягой. Считается, что первыми такими рельсовыми дорогами были дороги, сооружённые, соответственно, в 1801 году в Англии между Уондсвортом и Кройдоном и в 1807 году в Уэльсе («Суонси и Мамблза») [8].

Рельсовый путь на ранней стадии формирования, благодаря стараниям инженеров, прошёл следующие эволюционные этапы:

1) первоначальную конструкцию продольных деревянных лежней постоянно улучшали, совершенствуя её геометрические параметры и износостойкость. Сами лежни укрепляли дубовыми, а затем чугунными полосами (1738 г.), а опоры выполняли из твёрдых пород дерева или камня;

2) всё большая поверхность лежней покрывалась чугуном, а позднее добавили закраины для удержания колёс в колее (рис. 2). Параллельно с закраинами существовала конструкция, предусматривающая жёлоб на поверхности катания;

3) чугунные рельсы на поперечинах создали прообраз рельсового пути, параллельно задав и стандарт колеи, равной 1435 мм (применена в Шеффилдских копиях);

4) в 1820 г. Д. Биркиншоу удалось прокатить железный профиль рельсов, что позволило увеличить длину рельсов примерно в четыре раза. Это стало началом создания железнодорожных дорог в буквальном значении. Вначале рельсу придавали в каждом пролёте форму балки равного сопротивления. Получились «волнистые» рельсы (рис. 3), которые были уложены на первых железных дорогах общего пользования с паровой тягой в Англии, но впоследствии из-за высокой стоимости обработки «волнистых» рельсов от них отказались;

5) дальнейшее увеличение сопротивления изгибающим усилиям достигалось утолщением рельса в его нижней части, что, в конечном счёте, привело к образованию второй головки. Так, в 1833 г. возникли двухголовые рельсы (рис. 4);

6) следующий шаг в развитии – создание в 1835 г. Р. Л. Стивенсом широкоподшвенного рельса и совершенствование широкоподшвенного рельса с неизменным профилем американцем Ч. Виньоном (рис. 5, 6) [4; 6].

Периодизация разработки конструкций колеиных дорог с акцентом на конструкции рельсов представлена в работе [2]:

- середина XVI в.–1788 г. – создание деревянных лежней и железных рельсов;
- 1789 г.–1865 г. – появление чугунных рельсов с явно выраженной головкой и шейкой;
- 1866 г.–1903 г. – создание стальных рельсов и выделение казённых типов рельсов;
- 1903 г.–1947 г. – стандартизация химического состава материала и геометрии профиля рельсов;

³ The Wollaton Wagonway of 1604. A Waggonway Research Circle guide. [Электронный ресурс]: https://island-publishing.co.uk/WRC_mirror/woll_wag_leaflet_a4.pdf. Доступ 11.06.2021.

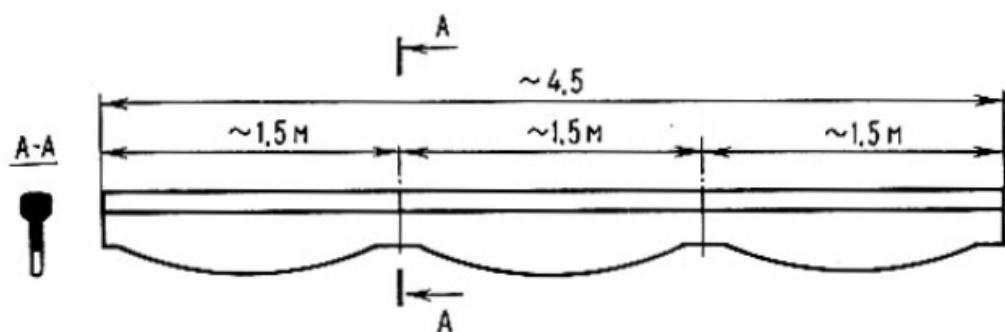


Рис. 3. Вид в профиль и разрез (А-А) «волнистых» рельсов. Верхнее строение. [Электронный ресурс]: <http://railway-transport.ru/books/item/f00/s00/z0000020/st017.html>. Доступ 11.06.2021.

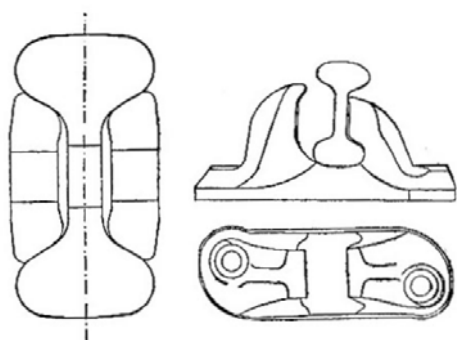


Рис. 4. Сечения двухголового рельса. [Электронный ресурс]: <https://www.1902encyclopedia.com/R/RAI/railway-27.html>. Доступ 11.06.2021.

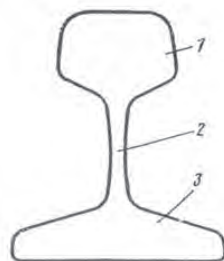


Рис. 5. Поперечное сечение широкоподошвенного рельса: 1 – головка; 2 – шейка; 3 – подошва.



Рис. 6. Широкоподошвенный рельс, применявшийся на железных дорогах, соответственно, Нового Южного Уэльса, Большой Мидлендской железной дороге, Большой Западной железной дороге. [Электронный ресурс]: <https://www.1902encyclopedia.com/R/RAI/railway-27.html>. Доступ 11.06.2021.

• 1947 г. – начало XXI в. – совершенствование современной конструкции рельсов и технологии их изготовления.

До появления железнодорожного транспорта сухопутные дороги практически не развивались. Их возникновение и эволюция дали мощный импульс развитию сухопутной инфраструктуры. Начавшаяся вслед за этим эпоха Джорджа Стефенсона и коренных преобразований в рельсовом транспорте ускорила эволюционные процессы. Практика реализации проектов сухопутной транспортной инфра-

структуры распространилась на большое число стран, в том числе и благодаря благоприятному предпринимательскому климату, сложившемуся в целом ряде государств в силу формирования социально-экономических институтов собственности и частной инициативы [9].

Эволюция материала изготовления подрельсового основания

Эпоха колесных каменных дорог сменялась продольными лежнями, соединённых поперечными деревянными балками,



в дальнейшем получивших название «шпала» (от нидерл. *spalk* – подпорка). Так дерево надолго заняло лидирующие позиции в качестве материала для изготовления шпал. Лишь в середине XX века железобетонные шпалы начали активно вытеснять деревянные с полигона укладки на сети.

Возможно отметить следующие основные вехи дальнейшей эволюции.

Первые опыты по исследованию возможности эксплуатации железобетонного подрельсового основания состоялись в конце XIX века во Франции, Италии, Германии, Венгрии, России, США и некоторых других странах.

В России на Екатерининской дороге, построенной в 1882–1904 годах, испытывали путь с монолитной бетонной плитой и продольными металлическими лежнями.

В 1886 году на Закаспийской дороге в Средней Азии в целях экономии применили так называемые кировые опоры – квадратные отливки из асфальтобетона, укладываемые под рельсами по диагонали [4].

В 1903 году в лаборатории Санкт-Петербургского института путей сообщения были изготовлены и испытаны первые в России железобетонные шпалы⁴. Несвершенство первых конструкций железобетонных шпал, заключавшееся прежде всего в отсутствии предварительного напряжения, со временем было решено благодаря установке и натяжению арматуры внутри бетонных шпал.

В 1909 г. русским инженером Н. Е. Долговым на Приднепровской дороге был впервые предложен и осуществлён в различных вариантах путь со сплошным монолитным железобетонным основанием. Из трёх вариантов разработанных им конструкций, на основную площадку земляного полотна укладывали монолитную бетонную плиту (в одном из вариантов на плите был сохранён слой щебня). Плиты покрывали обочины основной площадки и в зоне кюветов образовывали дренажные лотки. Таким образом, основная площадка была полностью защищена от проникновения поверхностных вод. Уложенные в путь конструкции Н. Е. Долгова прослужили от 22 до 40 лет [10].

⁴ Железобетонная альтернатива. Первые железобетонные шпалы // beteltrans.ru. [Электронный ресурс]: http://www.beteltrans.ru/history/history_783.html. Доступ 11.06.2021.

В ряде стран продолжались попытки применения крупноблочных конструкций. К числу их можно отнести конструкции Б. И. Мушкатина (СССР, 1946 г.), лежни Лавалья (Франция, 1946 г.), оригинальные железобетонные лежни и оболочки (Чехословакия, 1958 г.). Путь на железобетонных блочных опорах был уложен также в ГДР, Польше, ФРГ, Англии, Японии и других странах.

Наиболее подробно ретроспектива и развитие подрельсового основания рассмотрены в работах [5; 11; 12].

Краткий технико-экономический анализ становления рельсовых путей сообщения в России

С давних времён в нашей стране при перемещении тяжестей использовались деревянные рельсы, впоследствии дополненные металлическими накладками. А в XIX веке основным материалом для рельсов стал чугун.

В 1769 г. под Петербургом была сооружена специальная линейно-протяжённая конструкция для перевозки «Гром-камня», ставшего впоследствии пьедесталом памятника Петру I.

В 1805 г. при закладке биржи в Петербурге была сооружена чугунная дорога, по которой перевозились гранитные камни к месту работы. Аналогичные конструкции и специализированные вспомогательные пути устраивались при возведении плотин и других гидротехнических сооружений [13, с. 24; 16].

В 1788 г. А. С. Ярцев построил чугунную дорогу на Александровском пушечном заводе в Петрозаводске для перевозки грузов между цехами [13, с. 24; 14].

«В 1806 г. П. К. Фролов разработал и представил горному ведомству проект железной дороги от Змеиногорского рудника до Корбалихинского сереброплавильного завода. В своём проекте он указывал, что ежегодно для перевозки руды на расстояние до 3 км по обыкновенной дороге потребуется 1078 душ, тогда как по железной дороге только два человека и две лошади, которые в течение летних месяцев могут перевезти «всё количество руды для годовой расплавки». Выгодность железной дороги представлялась настолько очевидной, что в том же году проект был утверждён, автор приступил к постройке и сдал её в эксплуатацию в 1809 г.» (рис. 7) [13, с. 25; 14, с. 293].



Рис. 7. Чугунная дорога с конной тягой в Змеиногорске: 1 – макет «чугунки»; 2 – фрагмент чугунного рельса и колеса вагонетки. Змеиногорская «Чугунка» – прародительница российских железных дорог. [Электронный ресурс]: <https://chuguntv.ru/zmeinogorskaya-chugunka-praroditel/>. Доступ 11.06.2021.

Первая в России рельсовая дорога с паровой тягой была построена в 1834 г. на Нижнетагильском металлургическом заводе Демидовых [13, с. 25–27].

Железные дороги дали преимущества, недостижимые тогда для других видов сообщения: снижение стоимости и рост скорости передвижения пассажиров и перемещения грузов.

Для развития строительства железных дорог в России очень важно было создание соответствующих экономических условий. Если их возведение вначале шло медленными темпами и к середине 1860-х годов суммарная протяжённость российских железных дорог составляла всего около 3,5 тыс. км (порядка 2 % мировой сети), то после создания государством условий для привлечения частного капитала (в том числе и иностранного) на основе концессий, развитие железнодорожной сети в стране резко ускорилось [15; 16]. К. Я. Загорский отмечал положительную роль динамики сооружения новых железных дорог в 80-е годы XIX века для создания новых и развития основных отраслей народного хозяйства, процесса перехода

от экстенсивных приёмов и форм народного хозяйства к интенсивным методам капиталистического производства [1, с. 66–67; 16, с. 162–163].

«В конце XIX века в России были достигнуты рекордные темпы железнодорожного строительства. В период 1893–1900 годов протяжённость железных дорог возрастала в среднем в год почти на 2,5 тыс. км. Ни до, ни после сеть не развивалась столь динамично. Накануне Первой мировой войны её протяжённость составила около 70 тыс. км, а густота превысила 4 км на 10 тыс. жителей» [16, с. 165–166].

Динамика железнодорожного строительства в СССР не была стабильной, хотя по темпам и государственным задачам был продолжен путь Российской Империи.

На современном этапе развития железных дорог в нашей стране кроме модернизации существующих линий необходимо сооружать новые магистрали к экономически перспективным районам и связывать агломерационные территории. При этом необходимы экономически востребованные научные исследования и технические раз-



работки для строительства высокоскоростных магистралей и развития тяжеловесного движения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зарождение, становление и развитие транспорта, в частности – сухопутного (представленного в том числе и железными дорогами), является значительным экономическим достижением человечества [17].

Из числа наиболее важных характеристик, присущих инфраструктуре сухопутного транспорта, с исторической и одновременно экономической точек зрения можно отметить влияние институтов частной собственности на её развитие, государственную поддержку социально значимых проектов, историческую преемственность наиболее значимых исторических маршрутов («Шёлковый путь», путь «из варяг в греки»), определяющих экономическое развитие многих регионов, воплощенную в современных международных транспортных коридорах.

Материалы статьи и результаты проведённого исторического, технического и экономического анализа являются основой одной из глав монографии, изданной в момент подготовки к печати второй части журнальной публикации [18].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Загорский К. Я. Экономика транспорта. – М.: Госиздат, 1930. – 368 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Доступ 01.09.2021.
2. Воронина О. Н. Развитие конструкций железнодорожных рельсов, их стыковых соединений и технологий обработки / Дис. канд. техн. наук. – М., 2014. – 228 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/voronina-o-n-razvitie-konstrukciy-zheleznodorozhnyh-relov-i-h-stykovyh-soedineniy-i-tehnologiy-obrabotki_08a6088a5d0.html. Доступ 01.09.2021.
3. Дерри Т., Уильямс Т. Краткая история технологий. Идеи, процессы и устройства, при помощи которых человек изменяет окружающую среду с древности до наших дней / Пер. с англ. А. А. Ильиной. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2019. – 831 с.
4. Першин С. П. Развитие строительно-путевого дела на отечественных железных дорогах. – М.: Транспорт, 1978. – 296 с. [Электронный ресурс]: <http://railway-transport.ru/books/item/f00/s00/z0000020/index.shtml>. Доступ 01.09.2021.

5. Разуваев А. Д. Оценка экономической эффективности строительства и технического перевооружения железнодорожной инфраструктуры с применением инновационных решений / Дис... канд. экон. наук. – М., 2019. – 148 с. [Электронный ресурс]: https://rut-miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id_wm=804794. Доступ 01.09.2021.

6. Левин Д. Ю. История железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2018. – 414 с. ISBN 978-5-222-28294-6.

7. Мачерет Д. А., Валеев Н. А., Кудрявцева А. В. Формирование железнодорожной сети: диффузия эпохальной инновации и экономический рост // Экономическая политика. – 2018. – Т. 13. – № 1. – С. 252–279. DOI: 10.18288/1994-5124-2018-1-10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32655127>. Доступ 01.09.2021.

8. Родоначальница стареньких магистралей // Родина. – 2012. – № 2. – С. 89–92. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17855004>. Доступ 01.09.2021.

9. Мачерет Д. А., Кудрявцева А. В., Ледней А. Ю., Чернигина И. А. Общий технико-экономический курс железных дорог. – М.: МИИТ, 2017. – 364 с. [Электронный ресурс]: <https://www.twirpx.club/file/3022625/>. Доступ 01.09.2021.

10. Полторацкий И. И. Вечный путь инженера Н. Е. Долгова // Ж.-д. путь. – 1932. – № 2. – С. 17–19.

11. Волошко Ю. Д., Микитенко А. М. Рельсовый путь с блочными железобетонными опорами. – М.: Транспорт, 1980. – 175 с.

12. Савин А. В. Безбалластный путь. – М.: РАС, 2017. – 192 с. ISBN 978-5-906938-57-2. [Электронный ресурс]: <https://umczdt.ru/read/18723/?page=1>. Доступ 01.09.2021.

13. История железнодорожного транспорта России. – Т. 1: 1836–1917 гг. – СПб., 1994. – 336 с. [Электронный ресурс]: <https://tech.uch-lit.ru/transport/istoriya-zheleznodorozhnogo-transporta-rossii-tom-i>. Доступ 01.09.2021.

14. Мельников А. История колеса. От гончарного круга до шасси авиалайнера. – М.: Центрполиграф, 2021. – 350 с. ISBN 978-5-227-09364-6.

15. Гавлин М. Л. Династия фон Мекк. «Железнодорожные короли» и меценаты. – М.: Новый хронограф, 2016. – 216 с. ISBN 978-5-94881-350-9.

16. Мачерет Д. А. Экономические записки об отечественных железных дорогах // Отечественные записки. – 2013. – № 3 (54). – С. 162–178. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21218771>. Доступ 01.09.2021.

17. Мачерет Д. А., Валеев Н. А., Кудрявцева А. В. [и др.]. Техничко-экономическая оценка создания и эксплуатации транспортной инфраструктуры: Учебное пособие / Под ред. Д. А. Мачерета. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 326 с. [Электронный ресурс]: <https://www.twirpx.club/file/2877414/>. Доступ 01.09.2021.

18. Разуваев А. Д. Экономическая оценка создания, эволюции и стратегического развития транспортной инфраструктуры (на примере железнодорожного транспорта): Монография. – М.: Прометей, 2021. – 286 с. ISBN 978-5-00172-251-9.

Информация об авторе:

Разуваев Алексей Дмитриевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российского университета транспорта, Москва, Россия, razuvaevalex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 11.06.2021, одобрена после рецензирования 06.09.2021, актуализирована 17.02.2022, принята к публикации 22.10.2021 / 21.02.2022.



Химик, практик, учитель... Иван Алексеевич Каблуков (1857–1942)



Николай ГРИГОРЬЕВ

Николай Дмитриевич Григорьев

Кандидат технических наук, Москва, Россия.

✉ 9165688074@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В 2022 году исполняется 165 лет со дня рождения выдающегося российского учёного Ивана Алексеевича Каблукова. Основная область научных интересов и открытий академика Каблукова относится к электрохимии неводных растворов. И. А. Каблуков известен также как педагог и популяризатор науки, создатель школы физикохимиков в России, как автор ряда работ по истории химии.

В 1896 году в Московском Императорском инженерном училище ведомства путей сообщения (ныне Российский университет транспорта) Каблуковым была основана кафедра «Химия», которой он долгое время руководил. Всего научное наследие Каблукова включает более трёхсот трудов.

Член-корреспондент АН СССР (1928), почётный член АН СССР (1932), почётный член общества любителей естествознания, антропологии и этнографии (с 1921), член Русского физико-химического общества, общества акклиматизации животных и растений (с 1898), Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева (в 1934 году избран вице-президентом Московского отделения ВХО) и многих других научных обществ. Заслуженный профессор Московского университета (с 1910).

И. А. Каблукову принадлежат фундаментальные работы по теории растворов, термохимии, переработке минерального сырья на удобрения. Он был выдающимся педагогом.

Ключевые слова: И. А. Каблуков, история химии, теория растворов, органическая химия, физическая химия, термохимия, соляные равновесия, электрохимия неводных растворов, сольватная теория, история транспортного образования.

Для цитирования: Григорьев Н. Д. Химик, практик, учитель... Иван Алексеевич Каблуков // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-13>.

**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

В Подмоскowie, недалеко от знаменитого Пирогово, есть небольшое село Прусы. Именно там 2 сентября 1857 года в семье бывшего крепостного Алексея Фёдоровича Каблукова родился мальчик. Отец его, Алексей Каблуков, служил зубным врачом у местного помещика. По этому поводу Иван Алексеевич писал: *«Пожалуй, подумают, что отец мой учился в каком-нибудь медицинском институте. Нет. Тогда у нас и понятия не имели о зубо врачебных училищах. Всё произошло просто – барин определил моего отца дворовым, вот он и понаучился своему будущему искусству в барском доме. А потом барин его отпустил – мой отец из вольноотпущенных. В 1841 году, как помнится, он держал экзамен на звание зубного врача. Вот и всё...»* [1].

О своих родителях Иван Каблуков всегда отзывался с любовью, уважением и посвятил им свою докторскую диссертацию: *«Отец мой образования не имел. Мать была более образованна. Она меня научила читать и писать. А работали они оба, оба были здоровы и мне дали здоровье неплохое. Вот уже сколько живу, а зубы, – он с улыбкой открывал свой рот, – все целы»* [1].

В девять лет Иван Каблуков поступил во вторую московскую гимназию. Учёбу в основном оплачивали старшие братья. После окончания гимназии Иван Алексеевич поступает в Московский университет на естественное отделение физико-математического

факультета: *«Никогда не забуду того дня, когда я в сентябре 1876 года, в потёртом пальто, перешедшем ко мне с плеч моего старшего брата, первый раз шёл студентом в Московский университет. Я считал, что встречные должны были мне завидовать: я – студент Московского университета»* [1; 2].

На втором курсе студент Каблуков решил заняться наукой. Сначала это были эксперименты в области зоологии. Потом второкурсник Каблуков решил попытаться себя в лаборатории В. В. Марковникова. И уже в 1879 году на съезде работников естествознания и врачей в Петербурге (химическая секция) Марковников выступил с докладом на тему «Получение эфиров гексильного глицерина», где соавтором значился студент Иван Каблуков. Поэтому будущий учёный считал именно этот год началом своей научной карьеры. Чуть позже он напишет свою первую монографию «Многоатомные спирты в связи с ближайшими производными». В год окончания университета (1880) ему присудят золотую медаль за эту работу, и по предложению Марковникова оставят при университете для подготовки к профессорскому званию. Через год Каблукова командировывают в Петербургский университет, к профессору А. М. Бутлерову. Там будут проводить эксперименты по производству формальдегида по новому способу, предложенному Каблуковым. В настоящее время этот способ близок к заводскому методу получения формалина, применяемого



Иван Алексеевич Каблуков (21 августа (2 сентября) 1857 – 5 мая 1942). Здесь и далее фотографии, размещённые на Интернет-странице кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта. [Электронный ресурс]: <http://www.ecomiit.ru/istoriya-kafedry/kablukov/>. Доступ 18.02.2022.

в медицине, агрономии и в других областях. За время этой командировки учёный прослушает лекции знаменитых Бутлерова, Менделеева, Меншуткина, Любавина...

Вернувшись из Петербурга, Каблуков сдаст экзамены, получит степень магистра химии и продолжит работу в лаборатории Марковникова. В 1887 году Иван Алексеевич защищает свою диссертацию «Глицерины, или трёхатомные спирты и их производные». Работа будет посвящена Александру Бутлерову, скончавшемуся в 1886 году.

НАУЧНАЯ И ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И. А. КАБЛУКОВА

В 1889 году молодой учёный командировается в Лейпциг в лабораторию будущих нобелевских лауреатов В. Оствальда и С. Аррениуса, где работает над вопросами электропроводности растворов. Вернувшись отсюда, Иван Алексеевич продолжит свою преподавательскую деятельность.

Научная работа Каблукова в те годы разбивается в трёх направлениях:

1. Изучение органической химии.

2. Изучение физической химии, «особенно вопроса электропроводности, упругости пара водных и других растворов, термохимия, соляные равновесия».

3. Химия мёда и воска.

В эти годы Каблуковым будет написано порядка двухсот работ, большая часть которых будет связана с развитием промышленности.

Условно говоря, теорию растворов можно разделить на два направления: физико-механическое и химическое. Оба направления всегда существовали параллельно, «не мешая друг другу». Но в конце XIX века они резко столкнулись. Особенно этому способствовала научная деятельность первого лауреата Нобелевской премии в области химии, нидерландского учёного Якоба Хендрика Вант-Гоффа.

Иван Каблуков, в отличие от многих, рассматривал растворы, как «системы, которые обладают совершенно новыми свойствами». И эти новые свойства, по мнению учёного, совсем были не присущи «ни одному из тел, его образующих». Эта мысль Каблукова и создаст «мост» между физической теорией Вант-Гоффа и гидратной теорией Дмитрия Менделеева. Именно эта идея в будущем ляжет в основу современного понимания растворов [3–4].

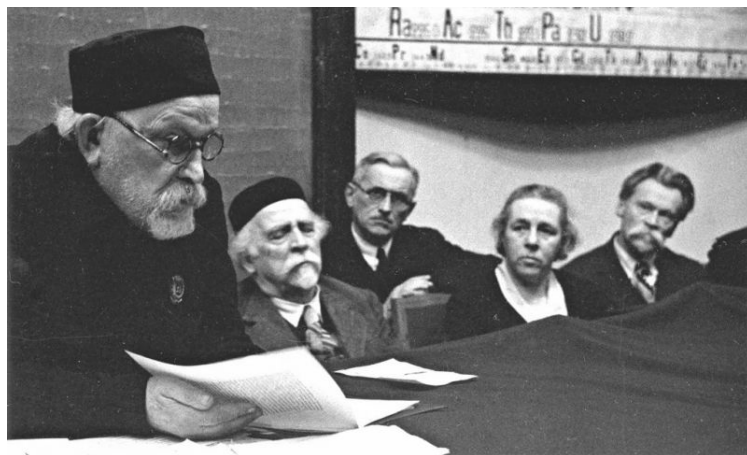


В Западной Европе учёными в те годы исследовались только водяные растворы. Неводные считались неионизирующими. Именно русские учёные первыми стали изучать электрохимию неводных растворов. Особенно в этом преуспел Каблуков, который впервые установил (1889), что некоторые неводные растворы не подчиняются теории Аррениуса. Именно он доказал, что, например, «хлористый водород в этиловом и амилловом спиртах при разбавлении не увеличивает, а уменьшает молекулярную электропроводность». Его докторская диссертация, посвящённая теории растворов, была первым российским фундаментальным трудом на эту тему. Из его диссертации следовало, что физическая и химическая теории не исключают друг друга, а идут, что называется, рука об руку. В связи с более поздними открытиями в современной химии, теория Каблукова, получившая название «сольватной теории» [3], заняла подобающее ей место в современной теории растворов.

РАБОТА В ИМПЕРАТОРСКОМ МОСКОВСКОМ ИНЖЕНЕРНОМ УЧИЛИЩЕ

В 1895 году состоялась вторая заграничная командировка Каблукова во Францию, Голландию и Швейцарию, где он перенимал опыт «использования лекционных демонстраций и организации музейных коллекций для преподавательских целей». Им были освоены экспериментальные методики преподавания





химии, которые были изучены при посещении лабораторий в университетах и высших школах. Он также осваивал практические приложения достижений химической науки, интересуясь вопросами химической переработки минерального сырья и физико-химическими аспектами производственных процессов при осмотре заводов и рудников.

После защиты своей диссертации Иван Каблуков продолжит научную работу и преподавательскую деятельность. В 1896 году в только что открытом Московском Императорском инженерном училище ведомства путей сообщения (ныне Российский университет транспорта) Каблуковым была основана кафедра «Химия» [5; 6], где им на основании заграничной методологии преподавания и разработанной собственной программы проводились занятия по неорганической и аналитической химии, по технологии строительных материалов и металлургии железа. Химический корпус был построен в 1898 году по проекту архитектора Китнера при участии Каблукова. Лекционные и лабораторные аудитории соответствовали программе занятий и были сделаны по образцу лаборатории Оствальда в Лейпциге, лично оснащены Каблуковым современными для того времени оборудованием, приборами, реактивами, расходными материалами, химической посудой и препаратами, закупленными у немецких фирм. К лабораторным местам были проведены газ и вода, были оборудованы индивидуальные вытяжные шкафы. Здание было оснащено системой междуэтажных подъёмников для посуды и лабораторных препаратов.

В 1900 году на основе опыта преподавания химии в училище Иван Алексеевич опубли-

ковал учебник «Основные начала неорганической химии» [7], который был рекомендован в качестве основного учебного пособия и в Московском университете. В учебнике содержится много сведений, относящихся к практическим приложениям химии и технологиям производства. Например, при изложении темы «Воздух» автор предлагает рассмотреть опыт, описывающий диффузию воздуха через стены здания. Материал о железе сопровождается рассказом о способах литья стали и чугуна, использовавшихся в то время. В учебнике представлены иллюстрации заводских установок, описания материалов, собранной им демонстрационной коллекции.

В инженерном училище Каблуков проработал заведующим кафедрой «Химия» до 1903 года (по другим данным до 1904 года). У входа, с правой стороны на стене здания учебного корпуса № 5 (ул. Образцова, д. 9, стр. 9) Российского университета транспорта установлена мемориальная доска, а химическая лаборатория на втором этаже носит имя известного химика.

Профессор Каблуков в эти же годы изобрёл особый открытый лабораторный сосуд со змеевиком, жидкость в котором может храниться, не портясь и почти не испаряясь. 125 лет назад (8 ноября 1897 года) Иван Алексеевич залил куриный бульон в колбу, которая в настоящее время является памятником науки. В музее истории Российского университета транспорта (учебный корпус № 1, аудитория № 1149) экспонируется эта колба (в неё периодически доливается вода). На основании сертификата № 800, выданного экспертным Советом при Политехническом музее г. Москвы (протокол № 16 от 15 ноября

2007 г.), он признан памятником науки и техники Первой категории. Поэтому этот музейный объект является культурным национальным достижением России.

В стенах РУТ до сих пор бережно хранится всё, что связано с именем Ивана Каблукова: коллекция химической посуды, чистых веществ и минералов, собранная им на ведущих европейских химических заводах и в университетах, диссертации его учеников, выполненные в лабораториях созданной им кафедры «Химия». Да и сами лаборатории кафедры хранят память о своём создателе.

Сегодня в «Химической лаборатории имени И. А. Каблукова» (аудитория 5203), частично сохранённой, частично воссозданной по старым проектам и модернизированной с учётом последних требований времени и науки, студенты РУТ слушают и «смотрят» лекции по химическим дисциплинам.

К этой «исторической» лаборатории примыкает рабочий кабинет Ивана Алексеевича (аудитория 5202). Здесь, как и сто с лишним лет назад, стоит его большой резной письменный стол, книжный, вытяжной и лабораторные шкафы, длинный препаратный стол, на котором уже второе столетие готовятся реактивы для лекционных демонстраций. Также в кабинете «почётное место» занимает огромный дубовый шкаф-витрина с коллекцией химических веществ того времени и «обновками» в виде новой коллекции металлов, кристаллов и посуды. Преподаватели до сих пор пользуются этой коллекцией для проведения лекционных опытов. На стенах висят таблицы атомных спектров, привезённые Каблуковым из Германии.

Возможно, как лектор Иван Каблуков не был «самым блестящим образцом» и, может быть, уступал в этом отношении многим своим современникам, однако его аудитория даже при необязательном посещении лекций была всегда переполнена.

Причина в том, что преподаватель Каблуков никогда не давал знаний «в готовом виде, в их конечном, общепринятом варианте». Он всегда «рисовал» процесс в развитии: с момента появления самой идеи в первозданном виде до её современного исполнения. Всегда призывал помнить о «несовершенстве формы зарождения научной истины».

«Человек, живущий в настоящее время в удобных и красивых многоэтажных домах города, должен всегда с благодарностью



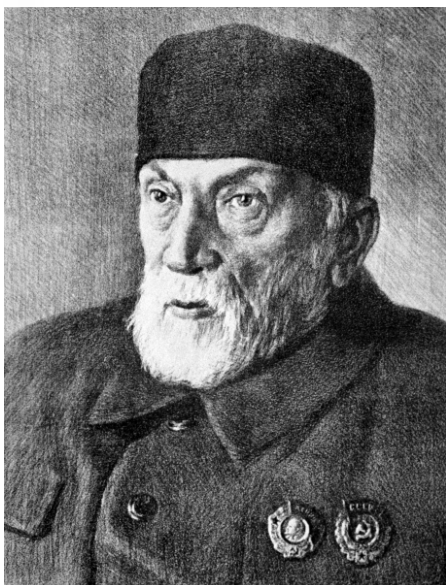
вспоминать тот первобытный шалаш, ту пещеру, которые укрывали от непогоды наших отдалённых предков и помогли им вырваться из первобытного состояния» (из записей студента с одной из лекций Каблукова в Тимирязевской академии).

Конечно, каждый студент хочет слушать лекции настоящих, больших учёных, к которым несомненно относился и Иван Каблуков. Но говорят, когда Каблуков начинал рассказывать о знаменитых Зинине, Бутлерове или Менделееве, с которыми был знаком лично, то перед притихшей аудиторией вырисовывались не только их великие научные открытия... Лекции Ивана Алексеевича всегда отличались фирменными «каблуковскими словечками» и милым юмором. В лекциях было место и неудачным опытам и теориям, которые с комментариями учёного иногда оказывались поучительнее удачных. Эта своеобразная манера общения порождала среди студентов и коллег много добродушных «каблуковских» шуток и анекдотов.

ПЕДАГОГ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬ, ОРГАНИЗАТОР НАУКИ

Иван Каблуков много путешествовал по России и Западной Европе с целью ознакомления с природными богатствами (соляными озёрами, залежами нефти и т.д.): «Я теперь как губка, спешу набрать в себя, как можно больше, чтобы впоследствии можно было больше из меня выжать» [8], – писал он своим родителям из первой поездки на Урал (1887 г.). Собственно, черта «всем делиться» (будь то знания или впечатления) – основная в его характере.





Во время этих поездок он осматривал фабрики и заводы, рудники и лаборатории, учебные заведения, не забывал и про местные музеи, картинные галереи, выставки, театры, концерты.

Важным направлением в деятельности Каблукова было изучение природных богатств нашей страны. Он не делил науку *«на чистую и прикладную»*, но считал, что *«есть наука и её практическое применение»*. Например, отечественное производство минеральных удобрений своим появлением обязано именно Каблукову.

В августе 1895 года в Бордо на съезде французской Ассоциации наук 38-летний русский химик Иван Каблуков был избран почётным председателем химической секции.

В 1899 году его избирают адъюнкт-профессором на кафедре неорганической химии Московского сельскохозяйственного института (ныне Тимирязевская академия), где он проработает до конца своей жизни. В мае 1903 года Иван Алексеевич становится экстраординарным (внештатным) профессором по кафедре неорганической химии Московского университета и уже в 1906 году – ординарным (штатным) профессором.

В 1907 году профессор Каблуков выпускает брошюру «Новейшая теория строения атомов» и помещает в журнале «Русская мысль» статью на эту же тему. Верный своему призванию просветителя в широких слоях русского общества, в 1914 году он публикует свою книгу «Очерк развития наших сведений о строении материи», в которой образно и до-

ступно «рисует картину», как менялись представления учёных о строении вещества.

В 1912 году Каблуков едет на Восьмой международный конгресс по прикладной химии в США. В Америке его тоже очень интересует устройство химических лабораторий. Он посещает научно-исследовательские институты, промышленные предприятия, месторождения урановых руд, учебные заведения, музеи, пасеки.

В 1913 году Иван Алексеевич организует в Московском университете исследования по химии радиоактивных элементов, закупив для этой цели за границей необходимую аппаратуру. Этим было положено начало исследований по химии радиоактивных элементов.

В 1915 году он становится заведующим единственной в нашей стране термохимической лабораторией (ныне лаборатория имени проф. В. Ф. Лугинина), которой Каблуков руководил до 1933 года. В 1928 году Академия наук СССР избирает его членом-корреспондентом. Несмотря на большую занятость, И. А. Каблуков находит время продолжать создавать свои научные работы в области растворов, термохимии и неорганической химии. Он пишет порядка 120 статей для энциклопедического словаря братьев Гранат, печатает работы, посвящённые деятельности выдающихся химиков прошлого.

Иван Алексеевич Каблуков – автор многочисленных учебников по различным разделам химии. Они создавались учёным в процессе подготовки к лекциям, которые он читал в различных высших учебных заведениях. Самыми главными, несомненно, считаются и будет считаться его руководство «Основные начала неорганической химии», первое издание которого вышло в 1900 году, а последнее (13-е) – в 1936 году. Каждое последующее переиздание, по сравнению с предыдущим, совершенствовалось, дополнялось, становясь на уровень науки своего времени. Фактический материал неорганической химии получал в нем физико-химическое освещение. По этому руководству учились десятки тысяч химиков [9]. В течение многих лет (1900–1934) И. А. Каблуков работал над курсом «Основные начала физической химии», издавая его отдельными выпусками по главнейшим разделам дисциплины. Этот курс также сыграл свою главную роль в деле химического образования в СССР, тем более, что он долгое время оставался единственным на русском языке [10].

В 1940 году при участии доцента В. А. Полосина, Каблуков выпускает свой последний труд «Курс лекций по неорганической химии». В предисловии к нему Иван Алексеевич напишет: *«С приближением к концу своей деятельности, мне хочется поделиться своим опытом преподавателя и издать лекции по химии, которые я читал в течение ряда лет»* [11].

В июле 1940 года И. А. Каблуков тяжело заболел и после перенесённой операции долго не мог встать на ноги. В октябре 1941 года Тимирязевская академия эвакуируется в Среднюю Азию, и Ивану Алексеевичу пришлось тоже согласиться на выезд из Москвы. Узбекское правительство проявило по отношению к И. А. Каблукову исключительное внимание, встретив его с большой любовью и обеспечив ему квартиру, тщательный медицинский уход в столице республики. Но 5 мая 1942 года Ивана Каблукова не стало. Он похоронен в Ташкенте. Одна из улиц города названа его именем. В портретной галерее химического факультета Национального университета Узбекистана выставлен портрет великого химика.

Иван Алексеевич Каблуков славился удивительным чувством юмора, которое он сохранил до последних дней жизни. Весной 1942 года по Казани, куда были эвакуированы химики, работавшие в Академии наук, разлетелся слух о том, что великий Каблуков скончался в Ташкенте. Срочно собрали траурное мероприятие, отметили заслуги учёного перед партией и народом и направили в журнал «Известия Академии наук» некролог. Через несколько дней в Казань пришла телеграмма из Ташкента: *«Узнал о вашем заседании, пришли-те, пожалуйста, протокол. Каблуков»*. К сожалению, сразу вскоре после этой телеграммы академика Каблукова не стало. В Казани даже не успели изъять из журнала ошибочный некролог – так он и вышел, написанный заранее.

«Великие люди умирают, но творения их живут и многому нас учат...» [12] – так

писал Иван Алексеевич Каблуков о Менделееве. Эти слова можно полностью отнести и к самому Ивану Алексеевичу, великому химику, практику и учителю.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Богатова Т. В. Каблуков Иван Алексеевич // Новая Российская энциклопедия. – Т. VII (1). – Гл. ред. А. Д. Непелов. – М.: Энциклопедия, 2010. – С. 429.
2. Зефирова О. Н. Иван Алексеевич Каблуков // Материалы к библиографии учёных СССР. Серия химических наук. – 1957. – Вып. 24. – 59 с.
3. Каблуков Иван Алексеевич // Железнодорожный транспорт: энциклопедия. – Гл. ред. Н. С. Канарев. – М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1994. – С. 547.
4. Шиц Л. А. Сольватация // Большая Советская энциклопедия. – Т. 24. – Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – С. 164.
5. Мишустин А. И. Электролитическая диссоциация // Большая Советская энциклопедия. – Т. 30. – Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1978. – С. 62–63.
6. Справочник по химии для поступающих в вузы / Под общ. ред. А. Г. Пилипенко. – Киев: «Наукова думка», 1972. – 408 с.
7. Минин Г. А., Апатцев В. И. Московский институт инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ) // Железнодорожный транспорт: энциклопедия. – Гл. ред. Н. С. Канарев. – М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 1994. – С. 340–341.
8. Каблуков Иван Алексеевич // Большая Советская энциклопедия. – Т. 11. – Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1973. – С. 102.
9. Каблуков И. А. Основные начала неорганической химии. – М.: Инженерное училище ведомства путей сообщения, 1900. – 310 с.
10. Каблуков И. А. Физическая и коллоидная химия. – М.: Сельхозгиз, 1935. – 558 с.
11. Каблуков И. А. Курс лекций по неорганической химии. – М.: Сельхозгиз, 1940. – 320 с.
12. Каблуков И. А. Менделеев // Энциклопедический словарь. – Изд. 7-е. – Т. 28. – Братья Гранат. – Ст. 426.
13. Каблуков Иван Алексеевич // Большая Советская энциклопедия. – Т. 19. – Гл. ред. Б. А. Введенский. – М.: Государственное научное издательство «Большая Советская энциклопедия», 1953. – С. 234–235.
14. Каблуков Иван Алексеевич // Советский энциклопедический словарь. – Гл. ред. А. М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1985. – С. 1600.
15. Соловьёв Ю. И., Каблукова М. И., Колесников Е. В. Иван Алексеевич Каблуков: Сто лет со дня рождения. 1857–1957. – М.: Издательство АН СССР, 1957. – 211 с.
16. Каблуков Иван Алексеевич // МИИТ на рубеже веков. – М.: 2002. – С. 372.
17. Rice, R. E. Hydrating ions in St. Petersburg and Moscow; ignoring them in Leipzig and Baltimore. Bulletin for the History of Chemistry, 2002, Vol. 27, No. 1, pp. 17–25. [Электронный ресурс]: http://acshist.scs.illinois.edu/bulletin_open_access/FullIssues/Vol27-1.pdf. Доступ 18.02.2022.

Информация об авторе:

Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, Москва, Россия, 9165688074@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 23.03.2019, одобрена после рецензирования 17.06.2021, актуализирована 09.12.2021, принята к публикации 18.02.2022.





О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 2



Пресс-архив

В 1910 году опытный руководитель железных дорог, начальник служб движения Николай Петрович Верховский представлял в VIII Отделе Императорского Российского Технического Общества написанную им книгу «Железнодорожная неразбериха», посвящённую комплексному решению широкого круга насущных вопросов организации работы железных дорог. Представленный им доклад, по сути, представлял подробное и акцентированное изложение её содержания. В первой части, опубликованной в предыдущем номере «Мира транспорта» (Т. 19, № 6), основное внимание уделялось мнению автора об образовательной и профессиональной траектории инженеров и руководителей дорог.

В публикуемой в этом номере второй части акцент сделан на социальной работе (обеспечение жильём), трудоустройстве на железных дорогах женщин, в первую очередь, жён бывших железнодорожников.

Отдельные разделы доклада посвящены политике железных дорог в сфере нормирования и оплаты труда, продолжительности рабочего времени отдельных категорий работников, а также социальному страхованию и пенсионному обеспечению.

Некоторые мысли по-прежнему актуальны, если не с точки зрения практической реализации, то в плане важности рассматриваемых составляющих социальной политики.

В тексте максимально сохранены пунктуация и лексика автора.

Окончание публикации в следующих номерах журнала.

Ключевые слова: история, российские железные дороги, образование, управление персоналом, училища, институты, детская и молодёжная политика, социальная политика на железных дорогах, карьера, компетенции.

Часть 2 (начало: «Мир транспорта». 2021. Т. 19. № 6).

Жилые помещения

Мой доклад страдал бы крупным пробелом, если бы я, получивший на дорогах такое практическое ознакомление со всеми деталями жизни служащих, не упомянул бы об одной из главных злоб дня для всех служащих, или, по крайней мере, их большинства. Зло-

бодневный и острый вопрос – это квартирный.

Служба на железных дорогах предъявляет к своим агентам серьёзные требования, но прежде, чем требовать от них работы и дела, надо поставить их в положение возможно сносного существования.

В массе разнородных климатов нашей необъятной родины главным образом прева-

Для цитирования: О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 120–130. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-14>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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

лируют или жестокие холода и ветры, или страшная жара. Те и другие требуют, для возможной компенсации атмосферных влияний, – соответствующих жилищ. Ни в одной отрасли железнодорожного дела не считается так мало с местными условиями, как в области жилья. Происходит это, главным образом, потому что, как мне кажется, строят дороги инженеры и техники, совершенно не желающие знакомиться с местными условиями, по которым будет проходить новый рельсовый путь.

В отношении жилья при постройке дорог допускаются два дефекта: строить здания, не соответствующие местным условиям, и, в количественном отношении, несоответственно служебному персоналу, необходимому для ведения эксплуатационного дела. Конструкция никогда не считается с нуждами эксплуатации, ни в техническом отношении, ни в отношении численности личного состава.

Железная дорога должна принять все меры к скорейшему созданию жилых помещений, чтобы число этих несчастных жертв было наименьшее. Волосы становятся дыбом, слушая рассказы жён несчастных рабочих, сторожей и стрелочников о невзгодах такого жилья. О неприглядном жилье переселенцев, в первые годы их переселения, пишут и говорят много, а о несчастной железнодорожной низшей братии никто не подумает.

Железнодорожное строительство. – Все льготы, предоставляемые служащим для облегчения их строительства, не настолько велики, чтобы двинуть это дело вперёд. Высочайше утверждённые 31 января 1903 года правила частного строительства распространены лишь на Сибирскую, Забайкальскую и Уссурийскую дороги, а служащим других дорог предоставлены только льготы по удешевлённому провозу материала для постройки и для получения ссуд под постройку из пенсионного капитала.

Дело строительства для служащих на казённой земле подвигается пока очень плохо. Одно из главных препятствий – это необходимость, при оставлении службы, расставаться с такой постройкой. Всякий, заводя себе гнездо, стремится обеспечить себя порядочным жилищем во время службы на дороге и одновременно создать себе угол для успокоения своей старости. Последнее невозможно, почему и стимул создания домостроитель-

ства довольно шаток, и все или, по крайней мере, многие вынуждены считаться с ним.

Лучше идёт дело при постройке домов на частной земле, но здесь является другое затруднение – это огромные аппетиты владельцев частных земель, прилегающих к железной дороге. За уступку в собственность удобной для постройки земли, которая часто даже пустует, не принося никакого дохода, – владельцы требуют суммы, выводящие служащих из их скромного бюджета. Землю приходится приобретать вдали от полотна дороги.

Не одна казна, но и правления частных дорог предъявляют к такому домостроительству одинаковые требования – о сносе строений в случае смерти или ухода со службы собственника постройки и в сущности, строго говоря, такие требования, включённые в правила частного строительства служащих, нельзя не признать основательными, иначе, в конце концов, обстоятельства могут сложиться так, что все свободные железнодорожные участки окажутся занятыми частными лицами, бывшими служащими, но и не служащими более на дороге, а новые служащие не будут иметь возможности строить себе дома для собственного жительства, следовательно, мероприятие, облегчающее существование служащих, потеряет всякое значение.

Недостаток жилых домов для помещения служащих ощущается по всем железнодорожным линиям, но особенно страдают от него новые дороги, преимущественно дороги, проходящие по глухой местности и развивающие своё грузовое движение. Такие дороги, как Сибирская, Забайкальская и Ташкентская, строились в предположении значительно меньшей грузовой перевозки и меньшего числа служащих. Увеличение движения и усиление личного состава, естественно, опережало постройку домов, так как эти дороги проходят по глухим местностям, особенно Ташкентская, проходящая почти 600 вёрст по безводной и безлюдной пустыне, то служащим не представлялось решительно никакой возможности поместиться где-либо без участия железнодорожного управления. В таких случаях дороги обыкновенно на первых порах удовлетворяют потребности в жилье, назначая для него товарные вагоны. Поселяют служащих с их семьями в товарных вагонах, в виде временного помещения в ожидании разрешения кредита на постройку барачных или жилых домов; при этом помещение даёт-



ся как для служащих, имеющих право на квартиру, так и для неимеющих, ввиду невозможности достать где-либо помещение. Но кредиты разрешаются туго.

Всё зависит от размеров отпускаемых кредитов. Кредитов не отпускают потому, что на этот предмет необходимы крупные суммы, вследствие дорогостоящих казённых построек. В виду таких соображений, необходимо приступить к возведению на железных дорогах дешёвых огнестойких глинобитных, саманных и чамурных построек.

Чтобы осуществить эту идею, я подал министру путей сообщения в июне 1909 года докладную записку о применении на железных дорогах глинобитных саманных и чамурных построек, с которыми знаком лично и практично. Господин министр благосклонно отнёсся к этой записке и предложил внести поднятый мною вопрос в программу занятий XXVII-го Совестьательного Съезда инженеров службы пути, который и был созван на 20-е ноября в г. Киеве.

Рассмотрев этот вопрос, Съезд постановил – допустить применение этой системы дешёвых построек в местностях, где имеется материал для таких построек, и если ремонт их не будет стоить дороже ремонта нынешних построек.

Кроме этого, г. министр поручил Риго-Орловской и Московско-Брестской дорогам произвести пробную постройку, на своих дорогах.

Земельные угодья. – Говоря о хозяйственных постройках для живности и хранения продуктов, необходимо упомянуть и о земельных угодьях.

Вопрос этот тоже не урегулирован, как общий для всех дорог. Некоторые дороги установили правила разверстания угодий станционной территории между службами, а другие оставили земельный вопрос на произвол судьбы. В последнем случае возникают постоянные споры и ссоры между служащими.

Станционные территории, за исключением больших городских станций, часто имеют массу свободной земли, не занятой путями, зданиями и складами, она-то и служит для возможного удовлетворения сельскохозяйственных нужд железнодорожных служащих.

Кроме станционных территорий, громадное количество свободной земли имеется на перегонах между станциями.

Земельный вопрос сам по себе вовсе не настолько маленький, чтобы не обратить на него внимание, особенно при настоящем утилитарном настроении Министерства. При 60 000 верстах протяжения железнодорожных линий и отчуждении в среднем до 20 сажень шириною полосы земли под дорогу, а иногда ширина доходит и до 60 и более сажень, общая площадь занятой дорогами земли не менее 250 тысяч десятин. Стоит подумать о правильном использовании такой площади в интересах служащих, а, следовательно, и дорог.

Нравственные увеселения. – Удовлетворение на линиях железных дорог одной умственной жизни служащих ещё недостаточно; необходимо подумать и о нравственных увеселениях.

«Делу – время, а потехе – час» говаривал нам Тишайший Московский царь. Потрудившимся служащим надо предоставить возможность и повеселиться, но и для этого необходимы средства, и одних добровольных пожертвований самих служащих – недостаточно: нужно пособие от казны и правления и инициатива старших служащих, обладающих музыкальными и сценическими талантами и могущих взять на себя образование музыкальных и театральных кружков.

Кредитные учреждения. – Одно из главных зол, подрывающих материальное состояние железнодорожников, это необходимость, в трудные домашние финансовые затруднения, – прибегать к займам у посторонних лиц. Векселя, выдаваемые обыкновенно в двойных суммах, оплачиваемых ростовщическими процентами, и при невозможности срочного погашения, утраивающие валюту, – не только разоряют служащих и впутывают их в кабальную зависимость, но часто даже вынуждают прибегать к злоупотреблениям, чтобы каким-нибудь способом отдалить неминуемую катастрофу.

На некоторых дорогах существуют кассы по службам, или даже общая касса взаимопомощи, сберегательная, ссудосберегательная и взаимного кредита, из которых выдаются ссуды под взаимную поруку.

Эти финансовые мероприятия, возникающие по инициативе отдельных лиц, пекущихся о благе сотоварищей и младших служащих, – следует распространять в железнодорожном мире во всех видах, выра-

ботав для них подходящие уставы, которые были бы известны всем служащим.

Финансовая самопомощь – мероприятие полезное по существу, одновременно развивает в служащих привычку к бережливости и взаимопомощи.

Начальство дороги не должно держаться экономической теории – «laissez faire, – laissez passer», чтобы всё образовалось как-нибудь – само собой. Оно должно проявить деятельность, в общих интересах дела и служащих. Управление же дорогами должно, со своей стороны, муслировать начальство отдельных дорог и содействовать изданием и распространением нормальных уставов касс.

Женский труд на дорогах

Женский труд на железных дорогах настолько серьёзный вопрос, что с ним приходится считаться.

В этом отношении Ведомство путей сообщения заслужило пальму первенства перед всеми ведомствами. Ни в одном из них женский труд не поставлен в такое исключительное благоприятное положение.

Феминистский вопрос, в смысле трудовом, практически решён на железных дорогах. Это большая заслуга не только перед представительницами прекрасного пола, но и перед государством. Масса сирот, девиц и жён бывших железнодорожных служащих, умерших на дорогах и оставивших свои семьи без всякого материального обеспечения, призрены железными дорогами. Иначе они были бы выброшены на улицу и обременяли бы государство своим пролетариатским состоянием. Они призрены не благотворением, но утилизацией их собственного труда. Этот труд даёт возможность им самим существовать, воспитать оставшихся детей, сестёр, братьев и содержать престарелых родителей.

Кроме того, масса жён и дочерей служащих служат на дорогах облегчая труд своих отцов и мужей и внося свою лепту в домашний кошелёк.

Независимо от сего и физический труд женщин имеет значительное применение на железных дорогах в должностях барьерных сторожих, горничных при дамских уборных, обтирщиц и поломоек.

Качество женского труда. – В свою очередь женщины, кроме труда, который по отзывам всех железнодорожных, в большинстве случаев, отчётливее и добросовестнее муж-

ского в однородных сферах, – внесли в среду контор и мужского населения облагораживающий элемент, в смысле смягчения нравов и улучшения нравственности служащей молодёжи. Присутствие женщин на службе сдерживает мужчин от некоторых эксцессов фривольности и грубости языка, допускаемых в их отсутствии. Хотя это не прямая, а косвенная заслуга, но тем не менее результаты её приносят ценные плоды в области улучшения нравственных качеств служащих на дорогах.

Что касается самого труда их, то он более всего применим, с пользой для дела и наиболее подходящий для самих женщин, в следующих службах и должностях: в службе сборов по учёту перевозок грузов, в статистике службы движения и тяги, по учёту пробега вагонов и паровозов, в библиотеках, аптеках, больницах, низших школах, во всех конторах для работы на пишущих машинах, а также на телеграфных аппаратах. В билетных кассах тоже лучше иметь кассирш, которые аккуратнее кассиров и никогда не рискуют делать злоупотребления.

Женский труд внедрился на железные дороги с давних пор, как единичное явление, и только в последние десять лет он стал уже массовым на всех дорогах, кроме Варшавско-Венской, где вовсе неприменим.

Предоставление права на труд исключительно женщинам железнодорожного круга. – В этом, конечно, нельзя усмотреть что-либо дурное, предосудительное, но что ещё следовало бы ввести – это распространение права службы женщин на железных дорогах исключительно для лиц, принадлежащих или принадлежавших к железнодорожному персоналу. В настоящее время имеется значительный контингент дочерей служащих, окончивших гимназии и институты, и не могущих пристроиться на железные дороги за неимением свободных мест в пределах нормы процента. Железные дороги во внутренней своей организации должны исключительно служить убежищем и рынком труда для тех женщин, чьи мужья, сыновья, братья, сёстры, отцы и матери работали и работают на дорогах. Приём женщин посторонних для дороги должен быть воспрещён безусловно.

Каста железнодорожников. – В отношении личного состава железные дороги должны образовать особую касту железнодорожников и принимать к себе на службу



не только преимущественно, но, и исключительно, детей железнодорожных служащих различных поколений. Железнодорожная каста в настоящее время так широко разрослась, что не редкость встретить два поколения взрослых на службе, и третье поколение подростков, подготавливающих себя к той же деятельности.

Это может служить одним из серьёзных стимулов для образования кадра хороших служащих, дорожащих своей службой и органически входящих в интересы дороги. Молодёжь, выросшая на дороге, которая сумела нравственно воспитать её, естественно сроднится с дорогой и её интересами и, сделавшись её агентами, будет, без сомнения, дельными служащими, особенно, если ей придётся начинать службу в своей же семье и под её надзором.

Фактически, само общество уже давно привыкло считать железнодорожный круг за особую касту, почему признание права на существование такой касты не представит ничего странного и ни в чём не изменит взаимных, жизненных, социальных отношений железных дорог к населению.

Исследование женского труда на железных дорогах. – Женский вопрос на железных дорогах – это вопрос, совершенно неисследованный, почти тёмный, как и многие наши важные вопросы. Я хотел осветить его разносторонне, предприняв *con amore* его исследование, с согласия Управления железных дорог. Но из этого поползновения послужить по-сильно женскому вопросу в железнодорожном деле ничего не вышло. Подул ветер с другой стороны, и Управление железных дорог не пожелало продолжения моего исследования.

Труд железнодорожных служащих, его нормировка, премирование, вознаграждение, выдача наградных и пособий

Род труда. – В отношении распределения, нормировки и вознаграждения труда надо тоже сделать ещё очень многое, так как нельзя успокоиться на той нормировке и вознаграждении, которые установлены в настоящее время.

Труд железнодорожных служащих резко разделяется на две части:

- 1) труд в управлениях и их конторах;
- 2) труд на линии.

Труд в управлениях. – Труд в управлениях не регламентирован и не нормирован указаниями свыше. Это домашнее дело каждого управления.

Обыкновенно служащие управления работают от 9 утра до 3-х часов дня, или от 10 до 4-х. По-моему мнению, это слишком льготный период, особенно принимая во внимание три обстоятельства: первое, что все служащие уходят обыкновенно пунктуально в назначенное для окончания занятий время, спеша покинуть здание управления, как бы боясь подарить дороге лишнюю минуту своего времени; другое, что служащие никогда не приходят точно в назначенный час начала занятий, опаздывая даже часто до одного часа; третье, что в течение рабочего срока много времени уходит на разговоры, чаепитие и курение табака, так что полных шести часов никто не работает. Шесть часов труда, т.е. четвёртая часть суток – это период очень малый, в то время, когда наименьшая продолжительность службы по линии определена 12 часов, а в усиленное движение грузов и пассажиров – служащим приходится, волей-неволей, нарушать такую норму и работать часто до 16 и 18 часов, и даже 24-х часов, а поездным и кондукторским бригадам, в зимний сезон во время метелей, и более продолжительный срок.

Почему мне кажется вполне возможным довести рабочее время конторских служащих до 8 часов ежедневной работы. Такое мероприятие, хотя не может вызвать уменьшения численного состава служащих, так как увеличивает число рабочих часов ($2304 - 1728 = 576$) только на полугодовую работу одного служащего, но зато увеличивает продуктивность работы всех служащих.

Труд на линии. – Труд линейных агентов, деятельность которых сопряжена с движением поездов (исключая запасных агентов), во избежание переутомления нормирован детально, и в настоящее время, начальство под страхом личной ответственности, не рискует нарушать установленные нормы. Нормы же эти, вообще, очень льготные и не требуют большого напряжения ни физического, ни умственного труда. В других государствах железнодорожные служащие работают значительно более, особенно в Америке.

Труд в прежнее время и современная регламентация его. – В прежнее время, до нормирования труда служащих, они работали гораздо более и не знали, что такое переутом-

ление. Если обстоятельства службы складывались настолько неблагоприятно, что требовали усиленно интенсивного и продолжительного труда, то его безропотно предоставляли делу. Когда же был изобретён технический патологический термин – «переутомление», то служащие поняли, насколько они были эксплуатированы делом. Во избежание переутомления, которым одно время в восьмидесятых годах прошлого столетия объясняли все несчастные случаи, хотя это совершенно неосновательно, что и показало позднейшее время, не уменьшившее случаи на дорогах, – увлеклись в обратную сторону и создали слишком малые нормы железнодорожной работы.

Правила, регламентирующие труд, создавались и перекраивались несколько раз, и большинство ныне действующих относятся к [18] 95, 98, 99 годам.

Регламентация труда стрелочников. – Как, по-видимому, точно ни разрабатывали эти правила, тем не менее они не точны и служат часто поводом к лишним расходам, и в настоящее время их надо вновь пересмотреть и переделать. Например, для нормирования дежурства стрелочников в основание принято движение с шестью парами поездов в сутки, но, как считать эти пары, – не указано. Поэтому, во избежание ответственности против буквы закона, в случае какого-нибудь криминала, дороги держат штат стрелочников на станции по пяти человек вместо трёх, целый год, когда движение более шести пар бывает только несколько дней в году. Таких же станций на ветках и на магистралях слабого движения – масса; следовательно, и суммы, напрасно расходуемые на них, – значительны.

Регламентация труда машинистов. – Продолжительность работы поездного машиниста определена в 14 часов, и ему дано право, по истечении этого срока, оставлять поезд, требуя отдыха. На некоторых дорогах служба тяги очень ревниво охраняет такие привилегии машинистов, внося полный сумбур в движение поездов что, без сомнения, имеет невыгодное значение в хозяйственности оборота подвижного состава.

Нормировка отдыха начальников станций. – Нормирование отдыха таких агентов, как начальники промежуточных станций, несмотря на точные рамки, распределённые по часам, нарушаются самой жизнью. Началь-

ник станции, имеющий право по распределению часов занятий на полный ночной отдых, часто не может пользоваться им, так как должен выйти к пассажирскому поезду, сдать выручку и продать билеты. В прежнее время билетная касса была на руках начальника станции и одного или двух его помощников, почему билеты в ночное время и в не дежурные часы продавали дежурные помощники. Случаи сознательного просчёта были очень редки, но в настоящее время, после забастовок, уже доверия между самими служащими друг к другу нет, и массовые случаи недобросовестности по продаже билетов вынуждают начальников станций, на личной ответственности которых лежат кассы, не доверять помощникам и выходить по ночам для продажи билетов, нарушая тем свой законный и необходимый отдых. Регламентация отдыха сводится на нет.

Освобождение начальников станций от ведения почтовых операций и составления отчётов. – «Не-техник» советует снять с некоторых начальников станций обязанности по ведению почтовых операций и по заведению сберегательными кассами. Мне кажется, что этого делать не следует во избежание лишних расходов по другим ведомствам, которые не могут поручить также операции кое-кому: им нужны лица с ответственным, довольно солидным положением.

Для устранения обременения начальников станций лучше дать ему лишнего кассира или коммерческого конторщика, ответственного в известных операциях. Освободить же станционных агентов от обязанностей по составлению отчётов для службы сборов, это мысль совершенно неправильная, так как отчитываться должны лица, производящие расходы и коммерческие операции, сами за себя. Тут опять вопрос о помощи подручных, если начальнику станции самому нет времени заниматься составлением отчётов.

Труд служащих в товарных конторах. «Белые» негры. – На что следует обратить внимание, так это на те тяжёлые условия труда, в которые поставлено большинство служащих в товарных конторах крупных товарных станций. По правде сказать, эти труженики, эти «белые» негры – достойны сожаления. Их заставляют работать с раннего утра до поздней ночи. И такая работа длится не недели, а целые месяцы и подчас даже целые годы. Лет с десять тому назад этот вопрос был



поставлен на очередь, собран съезд начальников коммерческих отделов для выработки нормы труда конторщиков и таксировщиков товарных контор.

Реального результата работа этого съезда не имела вовсе, кроме решения положить это дело под сукно на вечные времена. По подсчёту съезда, чтобы нормировать труд агентов товарных контор и сделать его вполне справедливым по отношению к труду прочих служащих, необходимо было прибавить число служащих в этих конторах на несколько миллионов рублей. Испугались таких расходов и сунули работу съезда под сукно, а «белые» негры продолжают изнывать под гнётом непосильной работы.

Несмотря на нынешнюю тенденцию к сокращению расходов, во имя справедливости следует вывести на свет выработанные съездом нормы и установить их раз и навсегда, или надолго, как регламентацию труда со стороны министерства.

Несколько миллионов, потраченных на это, не совсем пропадут даром. Естественно, работа сделается правильнее, не будет ошибок в товарных документах, и число претензий заметно убудет, а, следовательно и размер сумм, платимых по претензиям.

Непосильный труд вызывает неточность в работе и массу ошибок, дающих скупщикам накладных повод к судебным искам, размеры коих доходят до колоссальных размеров.

Озлобленные непосильным трудом и малым вознаграждением за него, служащие, легко, может быть, сознательно делают ошибки в пользу претендательских¹ контор за слабое вознаграждение с их стороны. Не мытьём, так катаньем – навёрстывают своё незаконно попорченное право.

Вознаграждение служащих. – Что касается материального вознаграждения служащих, то оно оставляет желать многого. Как общее правило, установившееся на дорогах, по отношению вознаграждения старших и младших агентов – заметна крупная разница. Бóльшее вознаграждение старших и малое – младших. Эта ненормальность – общее явление всех ведомств, – почему и железнодорожное ведомство не может составлять исключение.

Справедливое решение этого вопроса я вижу в постоянном последовательном, до

известных пределов, увеличении жалованья средних и младших служащих по прошествии известного числа лет службы, как практикуется на многих заграничных дорогах.

Постепенная прибавка жалованья. – Большинство служащих остаётся на своих должностях с молодости до старости всё на одном и том же жалованье. В молодые годы одинокому или малосемейному, с малыми детьми, получаемого оклада кое-как хватало и можно было жить, но с течением времени, по мере подрастания детей, – жалованья не хватает, заработка найти негде, да при железнодорожной службе и невозможно, – приходится, поневоле, изощряться в посторонней наживе, нередко за счёт интересов дороги, или её убытков. Вот стимул хищения. Сначала вынужденный, а потом уже в силу негласно установленных приёмов и обычаев. Мало-помалу хищения и взятки сделались необходимыми и в среде железнодорожных получили безмолвное и не зарегистрированное право гражданства,

Принцип железнодорожной экономии: побольше служащих и подешевле – не мало способствовал развитию хищения.

Сравнение с другими государствами. – Интересны справки, приведённые статистическим сборником М.П.С. за 1905 год, по сравнению числа служащих и рабочих и среднего их содержания на Европейской сети России, Австрии, Германии и С.-А. Соединённых Штатах на версту дороги за шесть лет с 1899 по 1904 год включительно.

В России среднее число служащих и рабочих на версту 12,7, Австрии – 8,6, Германии – 6, Америке – 3,7.

Среднее содержание одного служащего и рабочего: в России 331 руб., Австрии – 458 р., Германии – 602 р. и Америке – 1110 руб.

Следовательно, за границей имеют меньше служащих, но лучше оплачивают их. К тому же принципу следует стремиться и нам, как принципу экономически верному. Хорошо оплаченный служащий и рабочий способен создавать больше ценностей и лучшего качества, чем плохо оплаченный.

Отличие для старослужащих. – Кроме этих надбавок старым служащим, необходимо установить какое-нибудь отличие для прослуживших вообще на железных дорогах непрерывно 25, 35, 40 и 50 лет и, в частно-

¹ От «претендатель» – лицо, обращающееся с претензией. – прим. ред.

сти, на казённых и притом на одной и той же дороге.

Премировка работы. – Премирование работы служащих хотя и получило давно уже право гражданства на железных дорогах, но, к сожалению, в последнее время значение его сильно упало в той службе, в которой оно должно иметь доминирующее значение, а именно – в службе движения. Только немногие старые дороги, издавна приступившие к премировке, традиционно ещё сохраняют её. Но новые дороги не заводят у себя такие благодетельные и выгодные мероприятия по неимению кредита. Дело в том, что в основе премировки лежит вознаграждение за сбережение расходов, ассигнованных на известную работу. Если же на расходы ассигнуется сумма, заведомо недостаточная для выполнения известных функций, то очевидно, что можно ожидать только перерасходов, а не сбережений. Если нет сбережений и отдельных сметных ассигнований специально на премии, то само собой понятно, что премия сводится к пустому звуку.

Главное затруднение и задержка в организации системы премий некоторого рода труда, доступного премировке, состоит ещё в неимении коэффициентов работы, которые ещё не выработаны. При введении премии необходима громадная предварительная работа для выработки коэффициента при посредстве опытных наблюдений и статистических учётов, почему зачастую начальник движения, при всём желании ввести премирование труда и не имея на это ни времени, ни средств, часто поставлен в невозможность выполнить это полезное мероприятие, служащее стимулом к более энергичной работе и приучающее служащих к более осмысленному труду и стремлению к сбережению казённого материала и денежных средств.

Премии в службе тяги. – Другое дело в службе тяги. В ней давно уже выработаны коэффициенты, которые находятся вне локальной зависимости и могут применяться, с ничтожными изменениями, на всех дорогах, почему в этой службе премировка имеет значительное применение. Премиируется сбережение топлива и смазки, своевременность хода поезда, состав и тяжесть поездов, которые ведёт машинист, пробег паровозов и многие другие работы.

При хорошей работе и интенсивности движения грузов машинист выгоняет премии

ей ежемесячно суммы, часто равные или даже превосходящие его жалование. Периода увеличения работы на дороге – служащие тяги ждут с нетерпением и не тяготеют ими, работая во всю силу; служащие движения, напротив, – клянут это время, вытягивающее из них все жилы и соки и не увеличивающее их материальный заработок. Только кондуктора рады увеличению движения, как получающие премии за свой пробег.

Вопрос о премиях. – Вообще вопрос о премиях поставлен на весьма шатких основаниях, в виду же его полезности необходимо обратить на него особое внимание, основательно обмозговать, планомерно разработать и ввести премии на всех дорогах и, по возможности, во всех службах, особенно в службах движения и тяги.

Наградные. – Независимо от всех этих получек, служащим выдаются ещё наградные за результаты эксплуатации. Я нахожу выдачу наградных, в той форме, как они выдаются в настоящее время, совершенно неправильной. За эксплуатацию, т. е. собственно за свой труд по эксплуатации дороги, служащие получают жалование, выдача же наградных за результаты эксплуатации, т. е. собственно за успешную работу дороги, может иметь смысл и значение в том случае, когда они выдаются действительно только за успех дела, а не без всякого отношения к тому, хорошо ли работала дорога или нет.

В настоящее время, наградные вносятся в сметы на соответствующий номер, и составляют 10 % всей расходной сметы каждой дороги. Следовательно, заранее решается вопрос о наградных, худо ли, хорошо ли будет работать дорога, усердно или лениво будут работать служащие. Такая система фиксации наградных профанирует смысл и значение наград вообще и уничтожает всякий стимул, побуждающий к усердию в работе для выгод дороги.

Распределение наградных. – На 1909 год общая сумма наградных для всех казённых дорог определена в 3 706 000, а на 1910 в 4 миллиона. Это настолько солидная цифра, что стоит подумать о правильности её утилизации.

Принцип распределения наградных не выдерживает критики, в смысле справедливости, и следует прибегнуть к другой, более соответствующей правильной оценке труда служащих.



Во всяком случае, мне кажется, наградные нельзя выдавать за результаты эксплуатации вне зависимости от качества результатов. Необходимо ранее выяснить, произошёл ли плохой результат от органических недостатков дороги и неимения груза или от нехозяйственности и неудачной её эксплуатации. Служащие не должны считать получение наградных своим неотъемлемым правом и смотреть на них, как на прибавку к жалованию, *conditio sine qua non*.

Награда – это поощрение выдающихся трудов, которые надо проявить осязательной пользой для дела. Неправильность принципа выдачи наградных имела, по моему мнению, большое значение в понижении энергии служащих казённых дорог.

На казённых дорогах, кроме наградных, выдаются ещё пособия разного рода, распределяемые по мере надобности Советом Управления.

Суды чести и товарищеские, как элементы поднятия нравственности. – Для поднятия нравственности в среде железнодорожных служащих полезно было бы организовать на каждой дороге суды чести и товарищеские. Все служащие практики, прожившие долгое время на линии и в её конторах, знают, какая масса нелегальных и безнравственных поступков совершается служащими; масса столкновений товарищеского, личного характера, проступков, противных интересам казны и обществ и служебному долгу, – проходят бесследно для виновных в них, без всякого взыскания с них и без открытого порицания их со стороны порядочного большинства. Это даёт повод не только к рецидиву, но и вызывает со стороны других служащих, не обладающих этикой порядочности, желание последовать примеру не получивших должной кары за предосудительный поступок.

Накопление поступков, грешащих против этики, в среде железнодорожных служащих сильно понизило нравственный уровень этой среды. В район забот о поднятии этики в среде железнодорожников неминуемо должны войти мероприятия, непосредственно, так или иначе, осуждающие и клеймящие безнравственные поступки и проступки перед лицом всех служащих.

Начальство, *in corpore*, не может взяться за это дело, так как оно, чересчур занятое исполнением своих прямых обязанностей,

не настолько ознакомлено со средой своих служащих, и к тому же, кара или даже неодобрение проступка начальством не может иметь того безапелляционного значения, которое они приобретают в глазах служащих, если налагаются самими сослуживцами. «Глас народа – глас Божий». Народ, в этом отношении явится в лице судей, избранных добровольно самими служащими.

Я, конечно, далёк от мысли в настоящем докладе преподать готовую программу судов, которая вместе с уставами должна быть основательно выработана самими служащими; я высказываю только идею, которую, по-моему, мнению, следовало бы осуществить в видах её несомненной пользы и глубокого значения.

Выборы судей. – Дороги должны быть разделены на отделения, служащие которых, исключая чернорабочих, сторожей и стрелочников, выбирают из своей среды и из среды старших служащих известное число уважаемых и достойных лиц, имеющих хорошую, незапятнанную репутацию честных и справедливых лиц. Эти лица и считаются судьями. Для суда чести, которые ведают все дела личного и семейного характера, со стороны выбирают двух судей, и эти последние сами избирают уже председателя – третьего судью из общего числа выборных судей. Решения суда чести безапелляционны, и стороны обязаны ему подчиняться.

Для товарищеского суда, который ведает проступками против товарищей, казны или общества, против правил нравственности, служебного долга и т.п., собираются в известном числе судьи, по установленной очереди и избирают из своей среды председателя, вызывают виновных и свидетелей, разбирают дела и выносят своё постановление, которое считается безапелляционным, и которому виновные обязаны беспрекословно подчиниться.

Для того и другого суда должны быть выработаны уставы, утверждённые начальником дороги.

Влияние судов. – Такого рода суды, в течение некоторого весьма непродолжительного времени, должны оказать видимую пользу, подняв нравственность и выработав этику порядочности как в среде самих судей, польщённых доверием сослуживцев, почему они должны становиться ещё кор-

ректнее и порядочнее, так и в среде прочих служащих, осуждение которых будет ложиться на них чёрным пятном и вызовет неминуемо желание исправиться и загладить свою вину. Такое осуждение будет всегда иметь громадное преимущество перед взысканиями, налагаемыми приказами и циркулярами по дороге, и которыми, при невысоком нравственном уровне, установившемся на дороге, – многие даже бравируют. Это суд народа – суд Божий. Против него идти невозможно. Остаётся подчиниться и исправиться, или подвергнуться остракизму. Люди же, не желающие подчиниться суду общества, или неспособные к исправлению, должны будут не только уйти с дороги, но и вовсе оставить службу по железным дорогам, таким образом, плеве́лы будут вовсе изъяты с железнодорожной нивы, к общему благополучию.

Самопомощь в поднятии нравственного уровня. – Самопомощь в этом вопросе самих служащих будет иметь реальное значение тем более важное, что она, с одной стороны, будет функционировать вполне самостоятельно, без малейшего давления и даже направления местной высшей администрации, а с другой стороны – не вызовет никаких расходов со стороны казны и правления обществ частных дорог.

Самопомощь на почве выборного начала, при взаимном доверии служащих и судей и благосклонном согласии администрации, дезинфицирует дороги от вредных элементов, высоко поднимет железнодорожную этику, а с ней вместе честное отношение к служебному долгу и интересам казны и государства, и поможет Министерству путей сообщения в поднятии доходности дорог и водворении в них порядка.

На четырёх дорогах, на которых я служил, не было и помину о судах подобного рода и на других дорогах их не существует, т. к. иначе это было бы мне известно. В железнодорожной литературе мне не случилось читать об организации такого рода судов.

Кажется, на Варшавско-Венской дороге есть нечто в роде судов такого рода, но о функционировании их ничего неизвестно.

Пример офицерских судов. – В нашей армии организованы офицерские суды, и они с успехом функционируют, оказывая весьма полезное влияние на поддержание

нравственности и чести в воинских частях. Того же надо достигнуть и на железных дорогах.

Для начала, конечно, необходима инициатива со стороны Министерства, на обязанности которого лежит оповестить дороги о принятии мер к организации судов.

Само собой разумеется, что все служащие с радостью откликнутся на такой призыв и немедленно примутся за дело. Помогай Бог такому полезному и хорошему делу!

Пенсионная касса и страхование служащих

До сих пор я говорил об организации учреждений, обнимающих собой устройство быта служащих во время их службы на дорогах, но для окончательного обеспечения служащих, по окончании ими службы, вследствие преклонных лет или болезни, а также для обеспечения семьи на случай преждевременной смерти, необходима организация пенсионных касс и страхования служащих.

Общая пенсионная касса служащих на казённых железных дорогах существует уже с 1 января 1894 года и имеет своим назначением выдачу самим служащим эмеритальных, вдовьих и сиротских пенсий. Пенсионный капитал обеспечивается собственными обязательными взносами служащих в размере 6 % из содержания, вычетами из наградных, доходами со станционных буфетов и приплатами казны.

К сожалению, размеры получаемых пенсий как самими служащими, так и их вдовами и сиротами слишком незначительны, чтобы обеспечивать существование пенсионеров, даже и в случае продолжительной службы служащего. В случаях же смерти служащего вскоре после вступления на службу, семья его получает чересчур мало для своего обеспечения, так как размеры пенсий прямо пропорциональны сделанным взносам.

Пенсионная касса, при современном её положении, совершенно не удовлетворяет служащих, и они, собственно говоря, не дорожат ей. Вычеты, как обязательные, все платят, но прежде часто старались увольняться от службы с тем, чтобы получить свои взносы и потом поступить обратно на службу. Это несколько лет тому назад вос-



прещено Управлением железных дорог. Но тем не менее всё-таки практикуется.

Следовало бы пересмотреть расчёты казённой общей пенсионной кассы и, если возможно, увеличить пенсии. Накапливать лишние капиталы, слагаемые из мелких взносов участников, не представляется надобности.

Страхование жизни в пенсионной кассе. — Страхование жизни в частных обществах представляется неосуществимым, вследствие дорогого тарифа годичной премии, поэтому Министерство путей сообщения, через посредство администрации пенсионной кассы, выработало проект страхования служащих в пенсионной кассе и, после многих перипетий, добилось наконец получения благоприятного мнения Государственного Совета и удостоилось Высочайшего утверждения проекта 3-го мая 1899 года.

Согласно этому закону, все служащие по эксплуатации и постройке казённых и частных железных дорог, и центральных учреждений Министерства путей сообщения, финансов и государственного контроля по железнодорожной части, получили право страхования жизни в пенсионной кассе служащих казённых железных дорог. Допущено два рода страхования:

- а) страхование капитала на случай смерти;
- б) смешанное страхование на определённый срок — причём застрахованный капитал выдаётся или самому страхователю, или, в случае смерти страхователя до истечения срока, — наследникам его.

Наконец, допущено ещё, так называемое, коллективное страхование группой лиц не менее 25-ти человек и суммой для каждого страхователя не свыше 1000 руб. Это страхование совершенно заменяет похоронные кассы, которые крайне невыгодны для участников.

Привлечение служащих к страхованию. — Как бы не блестящи результаты страховых операций за десятилетний срок, но, тем не менее, число застрахованных служащих в процентном отношении к общему числу служащих — ничтожно, всего 21 %. И это объясняется недостаточной распространённостью между служащими сведений о таком страховании и его выгодах. Управление делами кассы не имеет возможности держать массу особых агентов на всех линиях для вербовки страхователей: за это должны взяться местные железнодорожные агенты, как ревизоры движения и поездов, ревизоры

станционного счетоводства, ревизоры телеграфа, тяги, материальной службы, помощники начальников участков и дистанции. Были примеры, что ревизоры движения, заинтересовавшись этим вопросом, привлекли к участию в страховании массу служащих. Эти старшие линейные агенты, каждый в своём участке, должны разъяснять служащим их личную пользу страхования и, силой слова, убеждать принять в нём участие.

Это надо делать не в силу служебных обязательств и не чиновничьими приёмами (приказами, циркулярами), а живым убедительным словом, в силу человеколюбия и внимания к младшим служащим, интересы которых должны быть дороги участковому начальству.

Местные управления железных дорог должны, в свою очередь, помогать распространению страхований и своим вниманием возбуждать участковое начальство к деятельной вербовке агентов этого полезного учреждения.

Страховая премия в среднем размере достигает только 3 % оклада жалования застрахованных лиц, что не может обременять бюджет железнодорожного служащего, особенно имея в виду обеспечение его семьи на случай его преждевременной смерти, и его самого при дожитии до срока страхования.

Страхование, как средство, способствующее устройству быта. — Служащие должны понять благотворное значение страхования для каждого из них и стремиться воспользоваться его услугами. Нельзя всегда рассчитывать на пособие от казны, надо прибегать и к самопомощи, особенно когда для этого имеются все шансы, предоставленные заботливостью Министерства и управления железных дорог.

Страхование жизни в Пенсионной кассе железных дорог должно сыграть крупную роль в устройстве быта железнодорожных служащих и развить в них стремление к сохранению за собой той службы, которая обеспечивает их старость, а в случае преждевременной смерти делает возможным безбедное существование их семейств.

Н. П. Верховский
(Железнодорожное дело. — 1911. —
№ 21–22. — С. 44д–50д)

**Окончание публикации
в следующем номере журнала ●**



**КНИГА
О РОССИЙСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ
ТРАНСПОРТА**

132

«Всегда в движении» – как нельзя более точное название издания о достижениях транспортного университета, приуроченного к его 125-летию.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

**АВТОРЕФЕРАТЫ
ДИССЕРТАЦИЙ**

135

- Информационное обеспечение телематической системы управления городским пассажирским транспортом на основе использования инструментальных данных о динамике пассажиропотока.
- Анодное электролитно-плазменное насыщение стальных и титановых сплавов азотом и углеродом.
- Совершенствование методов тестирования и самоконтроля аппаратно-программных средств систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики.

**НОВЫЕ
КНИГИ
О ТРАНСПОРТЕ**

140

Новые издания, вышедшие в издательствах и университетах.





Книга о Российском университете транспорта (МИИТ)



Всегда в движении. – М.: Пан пресс, 2021. – 554 с. ISBN 978-5-9680-0301-0.

Фундаментальный труд посвящён 125-летию со дня образования Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). В книге представлен интереснейший материал, опубликованы уникальные фотографии, архивные документы и исторические очерки об основных вехах в истории университета, его главных достижениях и выдающихся выпускниках.

Юбилейное издание, посвящённое 125-летию Российского университета транспорта, рассказывает о становлении и развитии ведущего транспортного вуза страны. Открытое в 1896 году Московское Императорское инженерное училище ведомства путей сообщения (ИМИУ) стало кузницей кадров, которые прославили себя величайшими транспортными объектами. Это Великий Сибирский путь (Транссиб) и дорога из Сибири в Среднюю Азию (Турксиб), мост через Енисей, получивший Золотую медаль на Всемирной выставке в Париже в 1900 г., и Байкало-Амурская магистраль.

Книга включает описание истории вуза, биографические данные о выдающихся учёных, прославивших открытиями не только свою альма-матер, но и всю страну, а также информацию о самых последних, новейших успехах и достижениях университета и его выпускников.

Ключевые слова: Российский университет транспорта, МИИТ, история транспорта, подготовка кадров для транспортной отрасли.

Задача редакции в данном случае предложить не рецензию, а краткую информацию о вышедшем издании, посвящённом отмечавшемуся в 2021 году 125-летию Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), и его представлении профессиональному сообществу.

600 страниц памятного издания с архивными и современными фотографиями рассказывают о ярких событиях и значимых моментах из жизни легендарного РУТ (МИИТ). Наиболее точно об этом сказано в предисловии: «Вся история транспортного университета неразрывно связана с историей нашей

страны, является её неотъемлемой частью. И в этой истории нашлось место и великим делам, знаковым событиям, блистательным победам и триумфам, и тяжелейшим испытаниям, несбывшимся надеждам... Всё, чем была наполнена жизнь российского общества и государства в конце XIX века, в XX столетии и начале нынешнего, XXI века, отразилось в жизни университета... Не представляется возможным в юбилейном издании охватить абсолютно все события, раскрыть все сюжетные линии, восполнить все имеющиеся пробелы. Один только рассказ о выдающихся выпускниках университета, кото-

Для цитирования: Книга о Российском университете транспорта (МИИТ) // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 132–134. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2022-20-1-15>.

Благодарность. Редакция выражает признательность Центру по связям с общественностью РУТ (МИИТ) за возможность использовать информацию и фотоматериалы. [Электронный ресурс]: <https://www.mii.ru/news/178823>.

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



рыми гордится транспортная отрасль нашей страны, занял бы сотни страниц и стал многотомным изданием. Понимая это, в юбилейной книге мы решили сфокусировать внимание лишь на некоторых аспектах, фактах и творцах университетской истории. Отнюдь не умаляя роли и значения людей и событий, оказавшихся за рамками данного издания, хотелось бы подчеркнуть востребованность постоянного исследования истории университета... Обращение к истории университета со всей очевидностью демонстрирует востребованность транспортного образования не только для отрасли, но и для всей страны... История университета продолжается. Впереди – великое будущее. А потому эта книга – не окончание, а только один из этапов масштабной и кропотливой работы по составлению общеуниверситетской летописи, где со временем найдётся место для всех членов большой и дружной семьи, имя которой – Российский университет транспорта».

Как отмечалось в публикациях в СМИ в связи с этим событием, «многие архивные фотографии имеют историческую ценность.

Преподавателями, студентами вуза, основанного в 1896 году как Императорское Московское инженерное училище, были выдающиеся учёные, инженеры. Так, о физике Петре Лебедеве, открывшем давление света, лорд Кельвин говорил: «Ваш Лебедев заставил меня сдать перед его опытами». Лавр Прокураков, автор проекта моста через Енисей, удостоился Большой золотой медали Всемирной парижской выставки 1900 года и слов признания от Гюстава Эйфеля. Научные династии Велиховых, Патонов также начинались в этом вузе»¹.

Презентация книги «Всегда в движении» состоялась 24 января 2022 года в Российской государственной библиотеке.

Почётными гостями мероприятия в РГБ стали заместитель Министра транспорта Российской Федерации И. П. Чалик, дважды Министр путей сообщения РФ, первый президент ОАО «РЖД» Г. М. Фадеев, директор Административного департамента Министе-

¹ Шумейко И. Двигаться дальше. Независимая газета. 2022. – № 21 (8360). [Электронный ресурс]: https://www.ng.ru/ng_exlibris/2022-02-02/11_1113_miit.html.





ства транспорта Российской Федерации К. А. Пашков, заместитель руководителя Федерального агентства морского и речного транспорта К. О. Анисимов и другие представители транспортной отрасли.

В своём приветственном слове А. А. Климов, ректор РУТ (МИИТ), поблагодарил авторский коллектив, который на протяжении года трудился над созданием книги, а также Фонд целевого капитала РУТ (МИИТ) за неоценимую финансовую поддержку.

По сложившейся традиции первый экземпляр книги «Всегда в движении» был торжественно вручён президенту РГБ Виктору Фёдорову для передачи на вечное хранение в фонд Российской государственной библиотеки. По приглашению В. В. Фёдорова для молодых миитовцев, гостей мероприятия, членов учёного совета, профессорско-преподавательского состава, выпускников Российского университета транспорта, сотрудники РГБ провели экскурсию по фондам библиотеки.

Нельзя не отметить особую роль, которую книга, посвящённая достижениям многих поколений студентов и учёных университета, призвана сыграть в преемственности поколений. В качестве символа этого в преддверии праздника ректор РУТ (МИИТ) за особые успехи в учёбе вручил экземпляры книги лучшим сегодняшним студентам.

В заключение нельзя не отметить большой и искренний вклад множества выпускников

университета, его нынешних и бывших сотрудников, преподавателей и учёных, представителей транспортного сообщества в сбор информации, подготовку и издание книги.

Издание осуществлено при поддержке Фонда целевого капитала РУТ (МИИТ). Сопредседателями редакционного совета являлись А. А. Климов, ректор РУТ (МИИТ), Б. А. Лёвин, президент РУТ (МИИТ), К. А. Пашков, директор Административного департамента Министерства транспорта Российской Федерации, председателем редакционной коллегии – А. А. Выгнанов, кандидат технических наук, профессор. В состав авторского коллектива входили Е. Б. Куликова, кандидат технических наук, доцент, заведующая музеем РУТ (МИИТ); С. В. Медведев, кандидат исторических наук, доцент, доцент кафедры истории; Т. Л. Пашкова, кандидат технических наук, доцент кафедры управления инновациями на транспорте, член Союза писателей России, член Союза журналистов; С. Е. Руднева, доктор исторических наук, доцент, профессор кафедры истории; А. В. Танцева, кандидат исторических наук, доцент кафедры истории; А. В. Федякин, доктор политических наук, профессор, заведующий кафедрой истории; В. Д. Черепанов, кандидат политических наук, доцент, доцент кафедры истории.

**Редакция журнала
«Мир транспорта» ●**

*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/10.30932/1992-3252-2022-20-1-16>

Дуке Саранго Мария Хосе. Разработка методики информационного обеспечения телематической системы управления городским пассажирским транспортом на основе использования инструментальных данных о динамике пассажиропотока / Автореф. дисс... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2021. – 24 с.

Анализ нормативных документов позволяет сделать вывод о том, что в конце первого десятилетия XXI века в России была разработана нормативно-техническая база, обеспечивающая возможность разработки и внедрения автоматизированных систем диспетчерского управления на городском пассажирском транспорте на высоком уровне.

Однако, проведённый анализ работы ГПТ (городского пассажирского транспорта) крупных городов показал, что процесс перевозок пассажиров не всегда согласован с параметрами пассажиропотока, что приводит к нарушению установленных нормативов по качеству перевозок.

Анализ задач, решаемых современными системами диспетчерского управления, показал, что в настоящее время отсутствуют функции и технологии оценки и прогноза изменения наполнения салона транспортного средства в процессе его движения на маршруте в реальном масштабе времени, что может являться причиной нарушения установленных требований к качеству перевозок, определяемых величиной наполнения салона.

Соблюдение установленных требований к качеству процесса перевозок весьма актуально в связи с возросшей ролью городского пассажирского транспорта в улучшении тяжёлой транспортной ситуации в крупных городах и мегаполисах.

Приведённый анализ подтверждает актуальность темы диссертационного исследования, направленного на гармонизацию параметров пассажиропотоков и динамики движения пассажирских транспортных средств на маршрутах городского пассажирского транспорта.

Цель исследования состоит в повышении качества перевозок пассажиров ГПТ на основе оценки и прогнозирования наполнения салона транспортных средств в рейсе по данным, формируемым телематическими средствами.

Решена научно-практическая задача, заключающаяся в нахождении закономерностей изменения величины наполнения салона транспортного средства ГПТ от параметров пассажиропотока на маршруте, создании инструментария для совершенствования и соблюдения установленных постоянных или временных нормативов качества перевозок пассажиров ГПТ. Решена задача дифференциальной оценки уровней комфортности пассажиров в процессе перевозки на основе предложенного понятия фазового пространства состояний процесса перевозок.

Установлена аналитическая зависимость между объёмом выполненной транспортной работы и параметрами пассажиропотока, которая позволит системе управления обеспечить мониторинг наполнения салона на маршруте с учётом уровня обслуживания и информировать пассажиров на остановках о наполнении салона с использованием остановочных табло.

Предложена методика прогнозирования наполнения салона ТС на критическом остановочном пункте, которая может быть использована для информационной поддержки при принятии решений в системе диспетчерского управления с целью соблюдения установленных социальными стандартами нормативов качества перевозок.

Результатами экспериментальных исследований доказана высокая точность разработанной модели прогнозирования о наполнении салона ТС на маршруте (ошибка прогноза до 10 %) для предупреждения возможного переполнения салона в рейсе сверх установленного норматива.

Полученные результаты исследований были использованы при разработке новой редакции национального стандарта ГОСТ Р 54723-2019, при подготовке методических указаний к курсовому проектированию по дисциплине «Телематика в организационно-производственных структурах», а также при подготовке научно-технических отчётов о результатах НИОКР, выполненных по грантам (Проект № 0042671, Проект № 0042614).



Предложенные подходы, методы и модели могут быть использованы для совершенствования программного обеспечения подсистем диспетчерского управления, анализа пассажиропотоков и формирования отчётных данных современных автоматизированных систем диспетчерского управления ГПТ.

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Дьяков И. Г. Теория и практика анодного электролитно-плазменного насыщения стальных и титановых сплавов азотом и углеродом / Автореф. дисс... док. техн. наук. – М.: МАИ, 2021. – 47 с.

Электролитно-плазменные процессы привлекают значительное внимание исследователей многих стран благодаря новым технологическим возможностям.

Микродуговое оксидирование и электролитно-плазменное полирование уже получили широкое распространение в современном производстве. Анодные процессы, основанные на растворении металла, позволяют выполнять не только полирование, но и очистку поверхностей от разнообразных загрязнений или травление с формированием нанопористых структур. Другая группа анодных процессов базируется на поверхностной модификации металлов и сплавов с изменением их состава. К ним относятся электрохимическое оксидирование, создающее тонкие барьерные пленки и относительно толстые оксидные планки, а также микродуговое оксидирование, при котором формируются анодные слои под действием электрических разрядов.

Перспективным направлением можно считать анодное электролитно-плазменное насыщение (АЭПН) металлов и сплавов азотом, углеродом или бором, сочетающее возможности поверхностного упрочнения, полирования и создания защитных покрытий. Предварительный анализ возможностей АЭПН показывает следующие преимущества данного метода:

- высокая скорость обработки, позволяющая снизить продолжительность операции до нескольких минут;
- возможность сочетания диффузионного насыщения с закалкой без повторного нагрева;

- отсутствует необходимость предварительной подготовки поверхности перед обработкой;
- возможна обработка изделий с заусенцами, удаляемыми в процессе обработки;
- удобство выполнения локальной обработки погружением в электролит рабочей поверхности или подачей на неё струи электролита;
- относительно глубокая модификация поверхности по сравнению с микродуговым оксидированием или нанесением гальванических покрытий;
- отсутствие токсичных материалов или дорогостоящего оборудования.

Цель работы – исследование физико-химического механизма диффузионного насыщения металлов в условиях плазменного электролиза и создание основ технологии поверхностной модификации стальных и титановых сплавов для повышения их коррозионной стойкости и износостойкости.

Выявлены основные закономерности образования упрочнённых слоёв после диффузионного насыщения сталей азотом и углеродом. Показано, что распределение диффундирующих элементов в модифицированном слое определяется совокупностью процессов окисления поверхности парами воды и анионами электролита, анодным растворением металла и диффузией азота и/или углерода. Толщина оксидного слоя зависит от температуры обработки и концентрации активных компонентов электролита, что подтверждает участие высокотемпературного окисления в парах воды и электрохимических реакций с анионами электролита, эмитируемыми в парогазовую оболочку. Выполнена оценка влияния параметров нагрева на скорость электрохимического растворения и высокотемпературное окисление поверхности образца.

Установлено, что при увеличении концентрации хлорида аммония растёт доля процесса электрохимического растворения. Повышение температуры нагрева способствует увеличению доли высокотемпературного окисления в большей степени и ускорению растворения железа в меньшей степени.

Показано, что процесс формирования оксидного слоя может быть описан в рамках модели высокотемпературного окисления при наличии растворения поверхности, что приводит к изменению соотношения фаз оксидов железа в слое. Показано, что добавление в раствор на основе хлорида аммония глицерина приводит к интенсификации процессов растворения, что связано с восстановлением окисленной поверхности

образца продуктами разложения глицерина. Установлено, что повышение концентрации хлорида аммония приводит в растворах с добавлением УСК к интенсификации процессов растворения и, как следствие, снижению толщины цементованного слоя.

На основе анализа распределения углерода в поверхностном слое образцов из малоуглеродистой стали после их анодной цементации определены углеродные потенциалы электролитов, содержащих ацетон, глицерин, сахарозу и этиленгликоль.

Показана возможность управления толщиной цементованного слоя в процессе анодного электролитного нагрева изменением состава электролита и режимов науглероживания. Использование ацетона, глицерина, сахарозы и этиленгликоля в качестве углеродсодержащих компонентов электролита для анодной цементации стальных изделий позволяет обеспечить углеродные потенциалы насыщающих атмосфер от 0,9 до 0,6 %. Это даёт возможность улучшить характеристики малоуглеродистых сталей: сформировать в ходе закалки мартенситный слой толщиной от 80 до 160 мкм (за 10 мин обработки) и повысить условный предел прочности от 420 ± 20 до 930 ± 50 МПа. Наибольшее значение толщины мартенситного слоя после цементации стали 20 с последующей закалкой наблюдается при концентрации углеродсодержащих компонентов 2 % (масс). При концентрациях углеродсодержащих компонентов менее 2 % наблюдается уменьшение толщины слоя из-за снижения насыщающей способности электролитов.

При концентрациях выше 2 % происходит снижение тока, определяющего интенсивность анодного растворения, вследствие чего уменьшается толщина цементованного слоя. Установлено, что повышение износостойкости малоуглеродистых сталей связано как с повышением микротвёрдости поверхностного слоя, так и с образованием остаточного аустенита, обеспечивающего лучшую прирабатываемость поверхности.

Установлено, что структура поверхностного слоя конструкционных сталей после их электролитно-плазменного насыщения азотом и углеродом содержит оксиды железа в наружном слое, мартенсит с нитридами или карбонитридами железа и твёрдый раствор насыщающих компонентов в железе. Подтверждена тормозящая роль оксидного слоя и возможность уменьшения его толщины интенсификацией анодного растворения. Показана возможность

реализации поверхностной закалки управлением толщиной мартенситного слоя, который образуется только в области проникновения азота, понижающего температуру аустенитизации. Установлено влияние концентраций компонентов электролита, температуры и продолжительности обработки на структурные характеристики модифицированных слоёв, включая их микротвёрдость и шероховатость. На основе предложенных феноменологических моделей определены прямые и перекрестные коэффициенты диффузии азота и углерода, подтверждающие взаимодействие потоков диффундирующих атомов. С повышением температуры насыщения наблюдается дополнительное ускорение диффузии углерода за счёт азота, в соответствии с этим коэффициент, описывающий влияние диффузии азота на диффузию углерода, имеет положительный знак.

Предложены составы электролитов и режимы АЭПН, позволяющие повысить коррозионную стойкость конструкционных сталей в растворах сульфата натрия. Показано, что плотность тока коррозии стали 20 в децинормальном растворе сульфата натрия может быть снижена в 20 раз с помощью её нитроцементации при температуре $800\text{--}850^\circ\text{C}$ в течение 5 мин в электролите, содержащем 10 % хлорида аммония, от 8 до 12 % глицерина и 10 % нитрата аммония. Установлено, что коррозионная стойкость образцов из конструкционных сталей после их АЭПН определяется защитным действием наружного оксидного слоя и содержанием нитридов железа в зоне соединений.

Показано, что аналогия между классическим электролизом и анодным электролитным нагревом может быть использована для качественного объяснения электрохимических закономерностей растворения железа на аноде.

Преимущественное накопление железа в нерастворимых формах делает возможным регенерацию промышленных электролитов при помощи декантации. Установлено, что в интервале времени работы электролита до 60 минут основным фактором старения электролита является накопление растворённого с поверхности анода железа. Уменьшение концентраций ионов аммония и хлора не влияет на теплофизические параметры обработки. Ион хлора обеспечивает перенос заряда от оболочки к аноду, совершая замкнутый цикл электрохимических реакций. Его удаление из раствора осуществляется рекомбинацией с ионами аммония с последующей эвакуацией хлорида аммония из зоны нагрева.



Предложены составы электролитов и режимы АЭПН, позволяющие повысить износостойкость конструкционных сталей в условиях сухого и гидродинамического трения. Показано, что массовый износ стали 20 может быть снижен в семь раз с помощью её нитроцементации при температуре 850°C в течение 5 мин. в электролите, содержащем 10 % хлорида аммония, 10 % нитрата аммония и 8 % глицерина. Показано, что массовый износ стали 12Х18Н10Т может быть снижен в 20 раз с помощью её нитроцементации при температуре 850°C в течение 5 мин. в электролите, содержащем 10 % хлорида аммония, 15 % карбамида. Установлено, что повышение износостойкости объясняется комплексным влиянием снижения шероховатости поверхности, повышением её микротвёрдости, улучшением прирабатываемости и удержанием смазки пористым оксидным слоем.

Установлено, что АЭПН титановых сплавов приводит к образованию наружного оксидного слоя, содержащего рутил, и твёрдого раствора азота и углерода в титане. При напряжениях обработки до 210 В и содержании хлорида аммония 10 % растворение титана преобладает над его окислением, т.е. наблюдается убыль массы образца. При увеличении напряжения до 260 В или повышении концентрации хлорида аммония до 15 % имеет место прирост массы, что говорит о доминировании окисления в процессе обработки при увеличении температуры образца. Обнаружена также нелинейная зависимость убыли массы от времени, что может свидетельствовать об отслоении части оксидного слоя в процессе обработки.

Показано положительное влияние оксидного слоя на электрохимическое поведение титанового сплава ВТ1-0 в растворе Рингера после электролитно-плазменной обработки. Установлена зависимость плотности тока коррозии от толщины оксидного слоя, которая определяется температурой и продолжительностью обработки, а также условиями охлаждения обрабатываемого образца.

Предложено теоретическое описание теплообмена при АЭПН, отличающееся от известных моделей учётом рассеивания тепла в окружающую среду через выступающую из электролита часть образца. Результаты расчёта качественно объясняют характер вольт-амперных и вольт-температурных характеристик (на восходящей ветви), зависимость толщины ПГО от параметров процесса и роль интенсивности обтекания образца электролитом. Выявлены критерии по-

добия параметров процесса, представляющие собой безразмерную энергию, выделяющуюся в оболочке, и отношение плотностей тепловых потоков из оболочки в электролит и в образец-анод. Обнаружено уменьшение средней плотности тока при увеличении глубины погружения детали в электролит, объясняемое неоднородным распределением тока по поверхности детали. Рассчитан профиль анодной парогазовой оболочки при нагреве вертикального цилиндрического образца. Обнаружено расширение оболочки при повышении напряжения нагрева и увеличении длины образца. Обнаружено снижение доли тепла, поступающего в анод, от 16 до 1 % по мере увеличения его длины от 2 до 7 см. Измерены значения вертикального градиента температуры анода, составляющие от 2 до 20°C/см. Установлено, что градиент температуры увеличивается при повышении напряжения и уменьшении длины анода.

Разработан технологический процесс повышения коррозионной стойкости и износостойкости конструкционных сталей и титановых сплавов с помощью их анодного электролитно-плазменного насыщения азотом и углеродом с последующей закалкой в том же электролите. Подготовлены рекомендации для совершенствования установок электролитно-плазменной обработки с целью стабилизации условий и повышения равномерности модификации деталей по их поверхности.

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Работа выполнена в Костромском государственном университете, защищена в Московском авиационном институте (национальный исследовательский университет).

Осадчий Г. В. Совершенствование методов тестирования и самоконтроля аппаратно-программных средств систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики / Автореф. дисс... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 20 с.

Основной целью диссертационного исследования является разработка методов организации тестового диагностического обеспечения и самодиагностируемых устройств системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), реализующих прин-

ципы контролепригодности, самопроверяемости и самоконтроля.

Полученные в ходе написания диссертации результаты позволяют решить одну из важнейших проблем – усовершенствовать технические средства диагностирования периферийного уровня СТДМ ЖАТ за счёт применения принципов контролепригодности, самопроверяемости и самоконтроля при реализации аппаратных и программных средств. Можно заключить следующее:

- одними из уязвимых с позиции надёжности техническими средствами современных систем диагностирования и мониторинга являются объекты периферийного уровня, включающие в себя измерительные контроллеры, аппаратно-программные средства предобработки и передачи диагностической информации в пункты концентрации. Сбои и устойчивые отказы в технических средствах данного уровня приводят к нарушению целостности диагностических данных, невозможности качественной интеллектуальной обработки на уровне концентраторов линейных и центральных пунктов, что неизбежно ведёт к снижению достоверности диагноза и последующего прогноза;

- совершенствованию СТДМ ЖАТ, повышению надёжности и отказоустойчивости их составляющих способствует следование принципам контролепригодности, самопроверяемости и самоконтроля при разработке аппаратных и программных средств;

- одним из эффективных методов для синтеза аппаратно-программных средств автоматики, наделённых свойствами обнаружения ошибок в вычислениях, является метод логического дополнения, позволяющий значительно проще обеспечивать полную самопроверяемость структур синтезируемых устройств при возможности минимизации их структурной избыточности;

- разработанный в диссертации метод синтеза самопроверяемых схем встроенного контроля для устройств автоматики и вычислительной техники, использующий принцип логического дополнения до равновесного кода «1 из 4» и учитывающий статистические данные об объекте диагностирования, позволяет синтезировать более простые самопроверяемые устройства, чем при использовании дублирования, в том числе, позволяет синтезировать самопроверяемые устройства даже тогда, когда это невозможно сделать, следуя принципам дублирования. Для выборки из 26 контрольных комбинационных схем получено

среднее значение $\mu = 84,6 \%$ (на 8 % меньше, чем без учёта статистических данных ($\mu = 92,6 \%$));

- при реализации схем встроенного контроля по методу логического дополнения до равновесного кода «1 из 4» помимо статистического подхода эффективно использовать выделение «троек» выходов объекта диагностирования, а также использовать схемы сжатия до логического преобразования. В первом случае удаётся как уменьшить сложность технической реализации самопроверяемого устройства ($\mu = 88,5 \%$), так и повысить достоверность работы схемы контроля ($p(\eta) = 97,2 \%$), а во втором – удаётся существенно снизить структурную избыточность устройства ($\mu = 79,4 \%$), однако, при этом незначительно снижается достоверность идентификации ошибок ($p(\eta) = 96,6 \%$);

- разработанные в диссертации алгоритмы самодиагностирования компонентов СТДМ ЖАТ эффективно использовать для создания программных средств их технического диагностирования, что значительно совершенствует технологию мониторинга;

- предложенный в диссертации метод выбора периода самодиагностирования измерительных контроллеров, основанный на выделении высокоприоритетных заявок рабочих воздействий измерительного контроллера и низкоприоритетных заявок тестовых воздействий, позволяет определить наилучшие условия для моментов реализации диагностических процедур без вмешательства в основной процесс функционирования объектов диагностирования;

- предложенный в диссертации подход к оценке достоверности самодиагностирования позволяет определить условия выбора периодов самодиагностирования измерительных контроллеров с учётом вероятностной оценки идентификации внутренних ошибок;

- применение предложенных в диссертации подходов при совершенствовании уровня тестирования и самодиагностирования техническими средствами АПК-ДК позволяет значительно повысить эффективность её работы за счёт повышения достоверности функционирования составляющих, а также позволяет перейти к использованию интеллектуальной обработки получаемых диагностических данных.

05.22.08 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.





НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*Список на английском языке публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The list of titles in English is published
in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-17>

Агешкина Н. А. Перевозка опасных грузов автомобильным транспортом: Учеб. пособие. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 138 с. ISBN 978-5-4488-1368-9.

Безъязычный В. Ф., Калугин С. С., Бессуднов И. А. Оптимизация технологических циклов изготовления и ремонта деталей авиационных газотурбинных двигателей на основе положений логистики: Учеб. пособие. – Рыбинск: РГТУ, 2022. – 64 с. ISBN 978-5-88435-716-7.

Богаткин О. Г. Авиационная метеорология для летчиков. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Перо, 2022. – 207 с. ISBN 978-5-00189-881-8.

Богаткин О. Г., Топтунова О. Н., Волобуева О. В., Иванова И. А. Практикум по авиационной метеорологии: Учеб. пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 153 с. ISBN 978-5-91155-142-1.

Бочкарева Н. А. Перевозка опасных грузов и ликвидация чрезвычайных ситуаций (железнодорожный транспорт): Учебник. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 145 с. ISBN 978-5-4488-1369-6.

Буковский С. Л., Сачкова Е. В. Английский язык для железнодорожного транспорта: Учебник. – 2-е изд., стер. – М.: Флинта, 2022. – 469 с. ISBN 978-5-9765-3992-1.

Вакуленко С. П., Прокофьев М. Н., Евреенова Н. Ю. Инновационные технологии грузовых перевозок железнодорожным транспортом: Учебник / Под редакцией к. т. н., профессора С. П. Вакуленко. – М.: ВИНТИ РАН, 2022. – 183 с. ISBN 978-5-902928-94-2.

Варенцов В. М., Бурьянов А. И., Иванов М. А. и др. Электроснабжение железных дорог: Учеб. пособие. – Ч. 1. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 141 с. ISBN 978-5-7641-1715-7.

Вовк Л. В., Ковальчук Т. Б. Транспортные сооружения: Учебник / Под редакцией Л. В. Вовк. – М.: Академия, 2022. – 254 с. ISBN 978-5-0054-0397-1.

Головченко Е. В., Федюнин П. А., Зырянов Ю. Т. и др. Авиационные инфокоммуникационные сети: Учеб. пособие / Под общей редакцией Е. В. Головченко. – СПб.: Лань, 2022. – 192 с. ISBN 978-5-8114-8274-0.

Горяев Н. К. Международные грузовые автомобильные перевозки: Учебник. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – 101 с. ISBN 978-5-696-05267-0.

Жмеренецкий В. Ф., Ливинцев Н. П., Саранин Р. В., Скопец Г. М. Жизненный цикл образца авиационной техники. Теория и практика нормативного обеспечения: Монография / Под редакцией д.т.н., проф. Г. М. Скопца; предисловие заслуженного деятеля науки и техники, д.т.н., проф. Г. П. Шибанова. – М.: URSS: ЛЕНАНД, сор. 2022. – 341 с. ISBN 978-5-9710-9630-6.

Забиров Х. Ш., Шапкин И. Н. Интегральные показатели повышения качества системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: (теория, практика, перспективы). – М.: Финансы и статистика, 2022. – 382 с. ISBN 978-5-00184-064-0.

Коджаспиров Ю. Г., Крупник Е. Я., Волкова Т. В., Черенкова С. Л. Профессионально-прикладная физическая подготовка студентов авиационных вузов: Учеб. пособие / Под общей редакцией Ю. Г. Коджаспирова. – М.: Изд-во МАИ, 2022. – 124 с. ISBN 978-5-4316-0882-7.

Котовский В. Н., Фёдоров Р. М. Расчёт параметров и характеристик авиационных ГТД: Монография. – М.: Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского, 2022. – 256 с. ISBN 978-5-907490-39-0.

Кузнецов П. М., Бутко А. О. Информационная поддержка разработок авиационной техники: Учеб. пособие. – М.: Грин Принт, 2022. – 66 с. ISBN 978-5-907286-75-7.

Лыков А. А., Блюдов А. А., Ледяев Е. В., Ракчеев С. В. Железнодорожная сигнализация: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 49 с. ISBN 978-5-7641-1738-6.

Макиенко В. М., Соколов П. В., Атеняев А. В. и др. Получение новых материалов в Дальневосточном регионе: Монография: в 2 частях / Под редакцией В. М. Макиенко. – Ч. 2. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2022. – 121 с. ISBN 978-5-262-00684-7.

Меркулов А. В. Имитационное моделирование работы станции: Монография: в 2 ч. – Ч. 2: Управление базами данных. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2022. – 145 с. ISBN 978-5-262-00913-8.

Мусонов В. М., Кацура А. В., Азгитов Р. А. Авиационные электрорадиоизмерения: Монография. – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2022. – 185 с. ISBN 978-5-86433-898-8.

Панин Ю. А., Гриневич В. П., Иванова Н. Г. [и др.] Лубрификация рельсов на железнодорожном транспорте: популярно о теории и практике / Под ред. к.т.н. Ю. А. Панина. – Тула: Бюрус-Принт, 2022. – 152 с. ISBN 978-5-905154-70-6.

Разуваев Д. А., Бендер О. А., Лаврова А. Ю. Проектирование реконструкции автомобильных дорог: Учеб.-методическое пособие. – Новосибирск: Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения, 2022. – 110 с. ISBN 978-5-00148-254-3.

Розенберг И. Н., Беляков С. Л., Боженок А. В. Основы геоинформационного моделирования: Учебник: в двух книгах / Под редакцией И. Н. Розенберга. – М.: УМЦ по образованию на ж. д. трансп., 2022. – 310 с., 324 с. ISBN 978-5-907479-57-9, ISBN 978-5-907479-58-6.

Румянцев Л. А. Проектирование автоматизированных автомобильных передач. – Изд. 2-е, доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2022. – 374 с. ISBN 978-5-907523-06-7.

Симкин Э. Л. Параметрические методы диагностики авиационных двигателей при стендовых испытаниях и в эксплуатации: Учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 449 с. ISBN 978-5-8114-8406-5.

Тихонов А. И., Просвирина Н. В. Импортзамещение в авиационной промышленности: Монография. – М.: Знание-М, 2022. – 177 с. ISBN 978-5-00187-229-0.

Чернова В. В. Эксплуатация дорожных машин, автомобилей и тракторов: Учебник. – М.: Академия, 2022. – 223 с. ISBN 978-5-0054-0325-4.

Чумак П. И., Кононова О. П. Сопротивление материалов авиационных конструкций: Учебник. – М.: Инфра-М, 2022. – 418 с. ISBN 978-5-16-016614-8 (print).

Чуян С. Н., Агаманюк А. В. Комплексная механизация путевых и строительных работ: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2022. – Ч. 1. – 2022. – 42 с. ISBN 978-5-7641-1730-0.

Шишкина И. В. Устройство и содержание искусственных сооружений на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. – М.: Перо, 2022. – 211 с. ISBN 978-5-00189-954-9.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



КНИГА О РОССИЙСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ТРАНСПОРТА (МИИТ)

24 января 2022 года в Российской государственной библиотеке состоялась презентация книги «Всегда в движении».

Фундаментальный труд посвящён 125-летию со дня образования Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). В книге собран интереснейший материал,

уникальные фотографии, архивные документы и исторические очерки об основных вехах в истории университета, его главных достижениях и выдающихся выпускниках.

Редакционную статью, представляющую рецензию на юбилейное издание и рассказывающую о его презентации, можно найти на с. 132 этого номера. ●



THE BOOK ABOUT THE RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT

On January 24, 2022, the Russian State Library hosted a presentation of the book «Always in Motion».

The fundamental work is dedicated to the 125th anniversary of the establishment of the Russian University of Transport – RUT (MIIT). The book contains quite interesting materials, unique photographs, archival

documents, and historical essays about the main milestones in the history of the University, its main achievements and outstanding graduates.

An editorial presenting a review of the anniversary edition and describing its presentation can be found on P. 260 of the issue. ●



RAILWAY POWER SUPPLY: DIGITAL PROJECTS 142

Review of existing expertise and development of common approaches based on the tentative pilot project digitalisation.

ACOUSTIC CONTROLLING 149

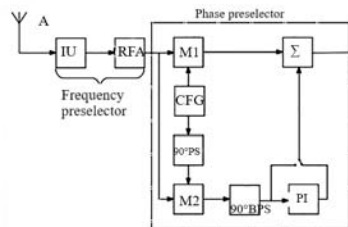
Use of sensors to control current technical conditions of railway power transformer substations.

DIESEL ENGINE 158

How to check serviceability of a diesel engine and find the fault? A hardware and software unit intended for troubleshooting of ICE is therefore described.



SCIENCE AND ENGINEERING



RADIO COMMUNICATION 165

Coherent detection, that is phase selection, has been used for image rejection.

URBAN PUBLIC TRANSPORT 171

The residents of big cities need environmentally friendly vehicles that do not provoke traffic jams. Some promising technologies are already at the threshold to be introduced.

HEAVY TRAINS 184

Risks of empty wagons' lifting caused by longitudinal dynamics of trains: history of approaches to elimination of those risks and general assessment of possible current solutions.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-1>World of Transport and Transportation, 2022,
Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 142–148

Modern Approaches to Design of Traction Power Network Facilities Using BIM Technology



Maxim V. SHEVLYUGIN



Vladimir S. ANTONOV



Natalia V. MAKSIMENKO

Maxim V. Shevlyugin¹, Vladimir S. Antonov², Natalia V. Maksimenko³

^{1, 2, 3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

^{2, 3} Transelectroproject, a branch of JSC Roszheldorproject, Moscow, Russia.

✉ ¹ mx_sh@mail.ru.

ABSTRACT

Optimisation of architecture and construction projects of power supply systems can be achieved with the help of BIM technology, which allows creating a single information model of interrelated processes. It permits to automatically prevent many design mistakes, and BIM makes analysis of project decisions made easier and more visual, significantly improving quality of design, and working documentation.

BIM technology is a modern approach to design-build-operate cycle. We can say that BIM is organised information about an object, used both at the design and construction stage, and during its operation and dismantling.

A single information space, that is a database containing all information about the technical, operational, energy and other features of the facility constitutes an important component of this technology. Due to an accurate and detailed development of the model, this technology makes it possible to carry out various calculations and analyses. A computer model of a new object created during the design process contains all the information about it. With BIM design, a designer at any level

has the opportunity and direct need to think about an object as about a holistic model, in real time, and in conformity with its economic component.

Competent use of software products for development of BIM models, as well as of the visual programming environment and of the subsequent execution of working documentation, significantly reduces design time and the number of errors. Thus, the costs and time for correcting errors are minimised.

The above features of BIM technology allow full use of its advantages when adopting digital modelling in construction of railway power facilities. This process also offers an opportunity to directly relate development of engineering design solutions and electrical engineering calculations within simulation modelling.

The objective of the study was to analyse of practical adaptability and features of adoption of this technology while designing catenary. Generalised expertise served to demonstrate key points in implementing relevant information environment, features of development of digital twins of objects of power supply infrastructure and of their operation.

Keywords: transport, railway, BIM, design, modelling, automation, power supply, traction power network, catenary.

For citation: Shevlyugin, M. V., Antonov, V. S., Maksimenko, N. V. Modern Approaches to Design of Traction Power Network Facilities Using BIM Technology. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

BIM technology (Building Information Modelling) allows creating a single information model of interrelated processes throughout the life cycle of an object, from the stage of development of basic design solutions to its reconstruction or dismantling¹.

The objective of using information modelling technology is explained through the fact that it allows to automatically prevent many common mistakes of designers, and conflict analysis and checking of design decisions becomes much easier, clearer, and more efficient using BIM technologies. Information modelling technology makes it possible to identify all errors within the project at an early stage, significantly improving quality of design and working documentation [1; 2]. Thus, the costs and time for correcting errors are minimised. Also, this technology allows visualising the process of building an object from scratch for the customer already in the design process, with the ability to display the time and economic components of its stages.

All these advantages of the information modelling fully apply to railways, namely, to design of their high-tech and sophisticated infrastructure, requiring, and that starting from the design stage, proactive coordination of groups of experts, permanent interaction with the customer, synchronisation of engineering, organisation, and economic aspects of a project.

The relevance of creating a single information model is that a group of specialists from various design sections develops together a single BIM model of an object [3–5], particularly of a railway infrastructure object. This allows all participants in the modelling process to see in real time all the current changes made to the project. It is also worth noting that modern realities are developing in such a way that, along with competent and economically sound technical solutions, the customer wants to get a visualisation of the finished object as close to reality as possible already at the initial design stages [6–7].

As well as for solution of any engineering task, information modelling needs relevant tools. Processes involving BIM technology in designing rail infrastructure make no exclusion, in that case these tools are various software.

Now, there are many software products on the market for development of BIM models and

subsequent development of working documentation². The main and most used in Russian conditions are Civil3D, ArchiCAD, Renga, Revit [8], each possessing its own advantages, though the analysis there-of has been beyond the scope of the research of the authors. It should be noted that the technology of BIM information modelling fully reveals itself only with introduction of automation based on development and use of various «scripts» and «plugins» [9–11]. Such tools are well developed, i.e., in the Autodesk Revit software package.

The *objective* of the study described in the article is to analyse the features of adoption of modern methods of digital modelling for construction of railway power facilities based on the use of software environment of BIM technology while designing catenary systems, as well as their advantages, for development both of BIM models and of full-fledged working documentation, as compared with traditional design methods. Implementation of BIM technology was considered regarding the activity of JSC Russian Railways.

The solution of the so set tasks was carried out using general scientific *methods* of research, theoretical analysis and synthesis, graphical interpretation of information, as well as modelling and programming [12–14].

RESULTS

Benefits of BIM Technology

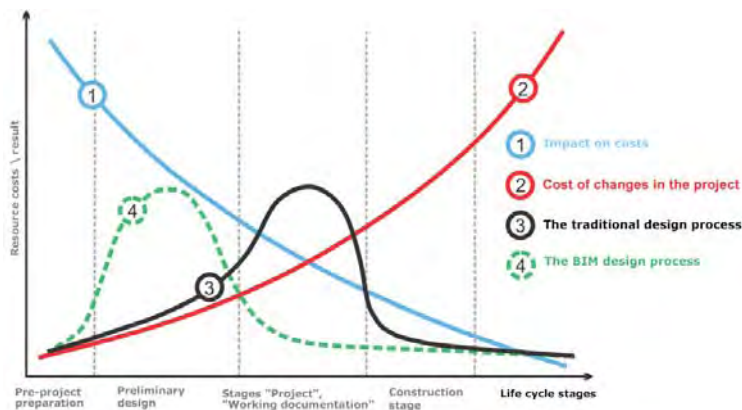
Specialists involved in development of a single information model of a railway infrastructure object must not only have the appropriate qualifications in the respective fields, but also be confident users of software products for developing BIM models.

BIM technology has several advantages over traditional design methods. When using BIM technology, the bulk of work regarding important design changes is shifted to the stage of preliminary design and development of project documentation, which significantly reduces the cost of correcting each design error [15–17]. Based on the graphs in Pic. 1 the cost of changes to be made increases with each stage of the life cycle.

¹ What is BIM technology? [Electronic resource]: <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>. Last accessed 10.03.2021.

² See, e.g.: Ozhigin, D. Analysis of the current situation in Russian BIM-market in the field of civil construction [Analiz tekushey situatsii na rossiyskom BIM-rynke v oblasti grazhdanskogo stroitel'stva]. [Electronic resource]: <https://ru-bezh.ru/denis-ozhigin/39134-analiz-tekushhej-situacziina-rossijskom-bim-rynke-v-oblasti-gr>. Last accessed 10.03.2021.





Pic. 1. Advantages of BIM modelling over traditional modelling [chart³, modified by the authors].

At the same time, with traditional CAD design technology, the largest number of collisions and shortcomings in specifications are detected and corrected mainly at the stages of development of working documentation and construction, resulting in a greater amount of financial and production costs.

Prerequisites to Use BIM Technology to Implement Projects on Russian Railways

The market economy witnesses competitive struggle for speed, quality, and cost within all the industries. This does not bypass leading transport companies, including JSC Russian Railways, one of the largest amidst them in Russia. Significant points in the updated general scheme for development of JSC Russian Railways network until 2030 comprise:

- Identification of existing and prospective «bottlenecks» affecting transit capacity of segments of the railway network of JSC Russian Railways.
- Measures aimed at development of railway infrastructure⁴.

To implement these points on agenda, it is necessary to optimise the entire system of design and calculation works. Besides, currently, the customer is increasingly trying to include in the

design task a clause on creation of an information (digital) model of the object.

The leading design organisations in Russia, comprising Transelectroproject (TELP), which shares leading positions in implementing the most modern means of feasibility studies and design activities in the field of rail power supply systems, are already using BIM technology for the synthesis of engineering solutions for the purposes of electric power supply systems of the rail infrastructure. I.e., TELP, has already cumulated almost all the tools and libraries of elements necessary for fast and accurate construction of 3D models.

The Use of BIM Technology in Design of the Catenary

The information model of the overhead catenary⁵ is an extended linear object containing a large set of support, carrying and supporting structures, various equipment, as well as a suspension cables and additional wires suspended using poles [with cantilevers, brackets, supports, registration arms, stays, steady arms, etc.] (Pic. 2).

The primary task while creating an information model of a catenary is to develop a library containing all the necessary families to fill the object model.

Creation of a family is a rather time-consuming process. It is necessary to carefully think over the logic of work within the model in advance. This process is very important, as it affects the stability of the information model of an object.

³ E.g.: What is BIM? [Chto takoe BIM Building Information Modeling?] (the article of genpro.ru). [Electronic resource]: [https://xn---dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/bim-who-is; Designing using BIM technology \[Proektirovanie po BIM-technologiyam\].](https://xn---dtbhaacat8bfloi8h.xn--p1ai/bim-who-is; Designing using BIM technology [Proektirovanie po BIM-technologiyam].) [Electronic resource]: <https://proekt.tessib.ru/bim-technology/designing-bim-technology/>. Last accessed 14.03.2021.

⁴ JSC Russian Railways has prepared an updated version of the general scheme for development of the railway network of JSC Russian Railways until 2020 and 2025 [OAO «RZD» podgotovilo aktualizirovannyi variant generalnoi shemy razvitiya seti zheleznnykh dorog «RZD» do 2020 i 2025 godov]. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=54527/>. Last accessed 14.03.2021.

⁵ Here-after called catenary, while other terms are also used, e.g., overhead line, overhead lines, overhead wiring, overhead contact system, overhead equipment, overhead line equipment, traction wire, trolley wire. – Translator's note.



Pic. 2. 3D visualisation of the catenary project [developed by the authors].

The internal structure of advanced BIM software products provides for a set of categories, and any family belongs to a certain category. For example, the foundation family belongs to the category of foundation of supporting (load-carrying) structure. In turn, the family has standard sizes. And a foundation family has standard sizes of different lengths and load-carrying capacity (for example, a TCA type [three-rayed foundation with bevel and anchored supporting consoles] foundation with a length of 4,5 and a bearing capacity of 59 kN•m, a TCA type foundation with a length of 5,0 and a bearing capacity of 79 kN•m, etc.).

Families are assigned with all the parameters inherent in catenary installations: name, brand, designation, weight, GOST [state standard], etc. Each family within the model is developed using a Shared Parameters File. This file allows using consistent names and avoid redundant data on basic and additional parameters when creating families. Also, this file is necessary for the correct representation of families in text form (specifications). Mandatory parameters include such properties or technical characteristics that allow us to uniquely identify the family, and that also contain data making possible to develop technical documentation, order, purchase and mounting of a specific element during the construction process. Additional parameters include properties or technical characteristics necessary for engineering calculations, technical and economic information, technical, performance, operational and other features⁶. This is necessary to automatically generate specifications of equipment and materials. The specification within the BIM object is the same model, only presented in a tabular form, each

line of table being an element of the model. An important feature is the relationship between the specification and the model. If one changes an element in the specification, it is changed in the model, and vice versa. Thus, discrepancy between the specification and the project is absolutely excluded. Specifications can be created and sorted into categories, families, family parameters, and then used in other projects.

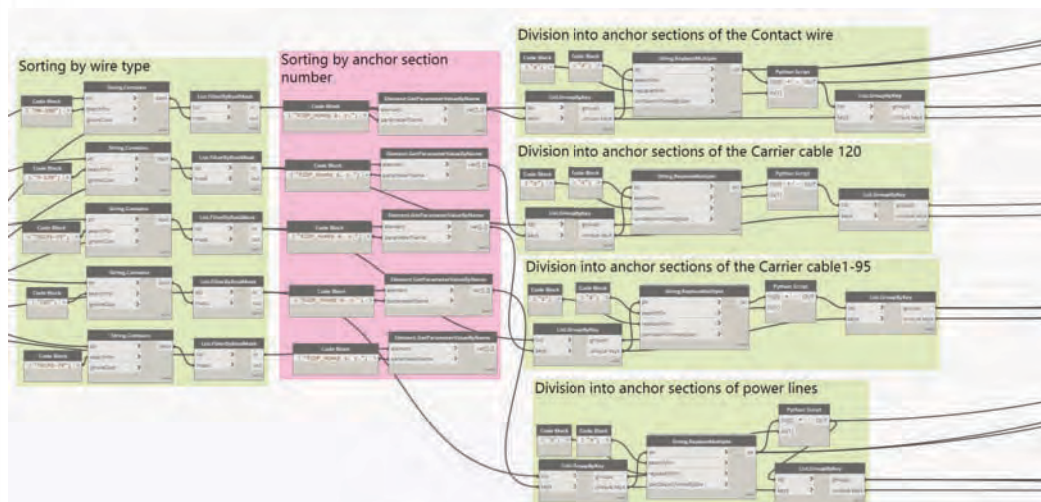
Using the created families, it is possible to assemble a complex family, that is to proceed with an «assembly» (Pic. 3), in which all elements are interconnected and configured to facilitate design.



Pic. 3. An example of assembling a complex family. Catenary pole [developed by the authors].

⁶ E.g., SP 328.1325800.2017 [Construction Code] Building information modelling. Components. Guidelines and requirements. Rules of description of the elements of information model.





Pic. 4. Structural chart of a model for automating the process of designing a contact network device implemented in a visual programming environment [composed by the authors].

All families are strictly classified into types, categories and subcategories of objects based on library elements. Modelling of components and elements of a digital information model of a linear object of electrification and power supply of railways is carried out in accordance with their true dimensions on a scale of 1:1, in the metric system of measurements.

An important feature of the use of BIM technology when creating an information model is the use of templates. With proper preparation of the template, the entire information part will have already been included in the BIM model. As part of preparation of a template, all the necessary views, specifications and sheets for drawings are configured. As the BIM model is built, the specifications are automatically filled in and, in case of any changes in the assembly's elements of a complex family, they are automatically updated [18].

Designing a catenary network is a rather complicated and time-consuming process that takes quite a lot of time and includes the following set of tasks:

- Placement of poles of the contact network.
- Mapping of catenary wires and additional wires.
- Calculation and selection of poles, supports and supporting structures.
- Preparation of specifications for equipment, products and materials, bills of work.
- Design of drawings.

This process can be significantly automated using the virtual tools developed within the BIM software, as well as using the built-in additional environment for visual programming (for example, the Dynamo software environment)

(Pic. 4). Powerful tools for automating design processes allow, particularly:

- To carry out automatic selection and installation of crossbars, as well as their reinforcement with supporting structures (Pic. 5).
- To automate the mapping of catenary wires.
- To automate the filling of the table of anchor sections and additional wires.

All this allows avoiding errors that occur during manual calculations and speed up the design by automating routine tasks.

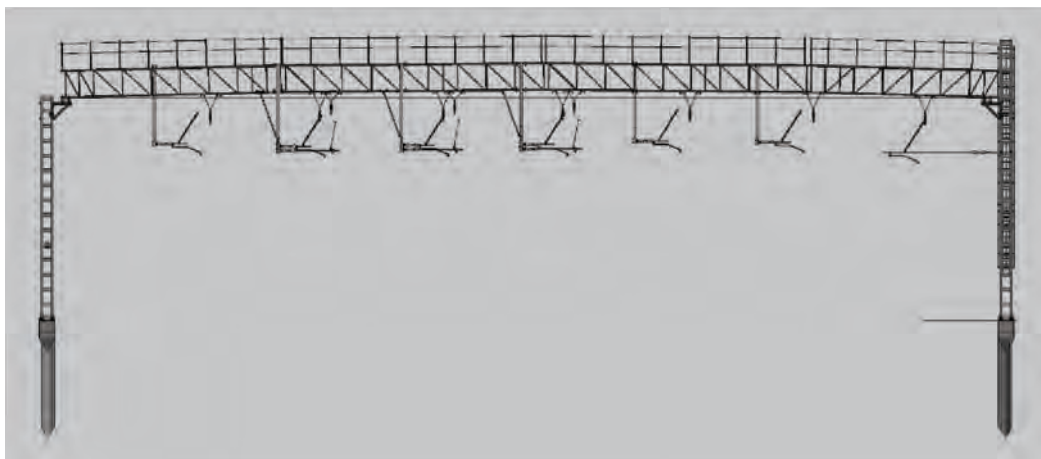
Outlook for Development of BIM Technology in Designing Overhead Catenary

In the future, the potential of symbiosis of the electrical calculation part and the design part regarding the contact network device will be implemented.

Now, first, an electrical calculation of the traction power supply system is carried out, based on simulation modelling. Its results act then as input data for development of design technical solutions for contact network devices [19].

By switching to BIM technologies in a broader form, electrical calculations and design solutions will be implemented in a single digital environment, moreover, within a single digital model. This will allow us to quickly, and most importantly with greater accuracy, correct the «digital twin» at various levels of performance of a comprehensive task.

The prospect of introducing a calculation and design model (digital twin) in symbiosis with a software product intended for electrical



Pic. 5. An example of assembling a complex family. Reinforcement of a rigid cross member with supporting structures using automation of selection of visual programming tools [developed by the authors].

calculations (for example, ETAP [20–22]) will bring development of a complex of calculations and design of railways in Russia to a qualitatively new level.

Similar technologies are currently being tested at Russian University of Transport at the Department of Transport Electric Power Engineering.

BRIEF CONCLUSION

The transition of a design organisation to design based on BIM technology means not only replacement of traditional design methods (2D drawings) with an information model. The changes will affect the core business processes of the organisation, which involve technical specialists and managers at all levels. Of course, such changes lead to redistribution of powers, areas of responsibility, internal document flow, to modification of the nature of relationships with partners, and so on.

With BIM design, a designer at any level has the opportunity and experiences direct need to think about an object as about a holistic model in real time, as well as about the economic component tied to it. It is also worth noting that the competent use of the tools of the BIM modelling software package, as well as of the environment for visual programming, significantly reduces the design time and significantly reduces the number of errors made.

Oddly enough, but «assessment of the full life cycle of an object makes it clear that design using traditional methods accounts for the smallest share of investments, that is only about

5 %. However, design errors can result in significant unplanned costs at later stages of the facility's life cycle, namely during its construction and operation»³.

Based on the description of notions suggested in the article regarding the application of BIM technology in designing overhead catenary and generalised algorithm of stage-by-stage execution of design process, it has been shown that while applying general technology of digital modelling it is necessary to consider features of the infrastructure objects to be designed, to create relevant libraries including libraries of digital twins allowing their use for designing different facilities. The core promising task of the scientific inquiry is to specify in details the existing developments and to integrate calculation and design model (digital twin) in symbiosis with software referring to electrical calculations. A particular attention should be paid to development of a harmonised system of analysis of economic advantages of digital modelling as compared to traditional design methods and tools, as well as to several other issues.

Progressive cumulation of experience and practices of implementation of projects together with applied research, in our opinion, is capable to achieve even more efficiency of the use of BIM technology for the purpose of railway design, construction and operation.

REFERENCES

1. Volkov, A. A., Sukneva, L. V. BIM Technology in Tasks of the Designing Complex Systems of Alternative Energy Supply. XXIII R-S-P seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP). *Procedia Engineering*, 2014, Vol. 91, pp. 377–380. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.078.

2. Cheng-Ting, Chiang; Chun-Ping, Chu; Chien-Cheng, Chou. BIM-enabled power consumption data management platform for rendering and analysis of energy usage patterns. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. *Procedia Engineering*, 2015, Vol. 118, pp. 554–562. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.480.
3. Dmitriev, A. N., Vladimirova, I. L., Kallaur, G. Yu., Tsygankova, A. A. Approaches to Classifying Building Innovations while Implementing Information Modeling and Project Management. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2019, Vol. 12 (2), pp. 143–151. [Electronic resource]: <http://www.jestr.org/downloads/Volume12Issue2/fulltext201222019.pdf>. Last accessed 14.03.2021.
4. Baht, I. M., Nicolae, P. M., Nicolae, I. D., Baht, N. Analysis of Green Building Effect on Micro grid Based on Potential Energy Savings and BIM. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2020, Vol. 5, Iss. 6, pp. 30–35. DOI: 10.25046/aj050604.
5. Adibah Ayuni Abd Malek, N., Ming Chew, J., Akmam Naamandadin, N., Zaiha Zainol, N., Muhammad, Kh. A study on association between tilt angle, solar insolation exposure and output of solar PV panel using BIM 3D modeling. *MATEC Web of Conferences*, 2018, Vol. 195, pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819506009>.
6. Gan, V. J. L.; Han, Luo; Yi, Tan; Min, Deng; Kwok, H. L. BIM and Data-Driven Predictive Analysis of Optimum Thermal Comfort for Indoor Environment. *Sensors*, 2021, Vol. 21, pp. 1–22. DOI: 10.3390/s21134401.
7. Nik-Bakht, M.; Lee, J.; Dehkordi, S. H. BIM-based reverberation time analysis. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 2021, Vol. 26, pp. 28–38. [Electronic resource]: https://www.itcon.org/papers/2021_03-ITcon-Nik-Bakht.pdf. Last accessed 20.12.2021.
8. Talapov, V. BIM Technology. The Essence and Features of Adoption of Information Modelling of Buildings [BIM-technologiya. Sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy]. DMK-press, 2015, 410 p. [Electronic resource]: <https://avidreaders.ru/download/tehnologiya-bim-sut-i-osobennostivnedreniya.html?f=pdf>. Last accessed 14.03.2021.
9. Ahuja, R., Sawhney, A., Arif, M. Prioritizing BIM Capabilities of an Organization: An Interpretive Structural Modeling Analysis. Creative Construction Conference, 19–22 June 2017, Primosten, Croatia. *Procedia Engineering*, 2017, Vol. 196, pp. 2–10. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.166.
10. Zhou, M., Tang, Y., Jin, H., Zhang, B., Sang, X. A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in the Design of Beijing Subway. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2021, Vol. 27, Iss. 7, pp. 500–514. DOI: 10.3846/jcem.2021.15602.
11. Farooq, J., Sharma, P., Kumar, R. S. Applications of Building Information Modeling in Electrical Systems Design. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2017, Vol. 10 (6), pp. 119–128. DOI: 10.25103/jestr.106.16.
12. Heo, J., Moon, H., Chang, S., Han, S., Lee, D.-E. Case Study of Solar Photovoltaic Power-Plant Site Selection for Infrastructure Planning Using a BIM-GIS-Based Approach. *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11, pp. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11188785>.
13. Azevedo, D. M., Marotti, A., Cardoso, A., Lamounier, E., De Lima, G. F. M., De Araújo, A. L., Guttler, C., De Oliveira Rocha, R., Bartholomeu, C. Development of Bim (Building Information Modeling) Concept Applied to Projects of Substations Integrated With the Geographic Intelligence System (GIS). *World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) in WSEAS Transactions on Power Systems*, 2021, Vol. 16, pp. 1–7. DOI: 10.37394/232016.2021.16.1.
14. Zhao, Liang; Zhang, Hong; Wang, Qian; Wang, Haining. Digital-Twin-Based Evaluation of Nearly Zero-Energy Building for Existing Buildings Based on Scan-to-BIM. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, 2021, Vol. 5, pp. 1–11. DOI: 10.1155/2021/6638897.
15. Balaras, C. A., Kontoyiannidis, S., Dascalaki, E. G., Drousa, K. G. Intelligent Services for Building Information Modeling – Assessing Variable Input Weather Data for Building Simulations. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2013, Vol. 7, pp. 138–145. DOI: 10.2174/1874836820131022005.
16. Borodin, S., Lyapina, A. State examination of BIM-model on the basis of object technological dependencies model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, Vol. 451, pp. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/451/1/012082.
17. Mataloto, B., Mendes, H., Ferreira, J. C. Things2People Interaction toward Energy Savings in Shared Spaces Using BIM. *Applied Sciences*, 2020, Vol. 10, pp. 1–17. DOI: 10.3390/app10165709.
18. Penkovsky, G. F. Fundamentals of information technology and automated design in construction [Osnovy informatsionnykh tekhnologii i avtomatizirovannogo proektirovaniya v stroitelstve]. St. Petersburg, SPbGASU publ., 2008, 150 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/view/penkovskiy-gf-osnovy-informatsionnyh-tehnologiy-i-avtomatizirovannogo-proektirovaniya-v-stroitelstve_623e64bf644.html. Last accessed 14.03.2021.
19. Andreev, V. V., Shevlyugin, M. V., Grechishnikov, V. A. Integral characteristics of branched traction power-supply systems. *Russian Electrical Engineering*, 2012, Vol. 83 (12), pp. 672–675. DOI: 10.3103/S1068371212120024.
20. Tulsy, V., Shevlyugin, M., Korolev, A., Khripushkin, N., Baembitov, R. Application of ETAP™eTraX™ software package for digital simulation of distribution network that feeds an AC traction power supply system. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 209, pp. 07011. DOI: 10.1051/e3sconf/202020907011.
21. Shevlyugin, M. V., Korolev, A. A., Golitsyna, A. E., Pletnev, D. S. Electric Stock Digital Twin in a Subway Traction Power System. *Russian Electrical Engineering*, 2019, Vol. 90 (9), pp. 647–652. DOI: 10.3103/S1068371219090098.
22. Shevlyugin, M. V., Korolev, A. A., Korolev, A. O., Aleksandrov, I. A. A Digital Model of a Traction Substation with Two Types of Current. *Russian Electrical Engineering*, 2018, Vol. 89 (9), pp. 540–545. DOI: 10.3103/S1068371218090134.

Information about the authors:

Shevlyugin, Maxim V., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Transport Electric Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, mx_sh@mail.ru.

Antonov, Vladimir S., engineer of the section of overhead contact network of Design, Survey and Research Institute of Railway Electrification and Power Installations (Transelectroproject) – a branch of JSC Roszheldorproject; Ph.D. student at the Department of Transport Electric Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, vlatigev@yandex.ru.

Maksimenko, Natalia V., engineer of the section of overhead contact network of Design, Survey and Research Institute of Railway Electrification and Power Installations (Transelectroproject) – a branch of JSC Roszheldorproject; Ph.D. student at the Department of Transport Electric Power Engineering of Russian University of Transport, Moscow, Russia, maksusha907@yandex.ru.

Article received 14.01.2022, approved 18.02.2022, accepted 21.02.2022.



Control of the Technical Condition of Power Transformers by Acoustic Diagnostics



Aibek Zh. Erkebaev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia / Almaty, Kazakhstan.

✉ erkebaev7397-1@murdoch.in.

Aibek Zh. ERKEBAEV

ABSTRACT

The relevance of the research is determined by the need to develop and consistently implement effective methods of the monitoring of the current technical condition of power transformer substations within the railway system of the Republic of Kazakhstan. The methodological approach in this research is based on combination of methods of system analysis of currently existing approaches to monitoring the current technical condition of power transformers using acoustic diagnostic methods with an analytical study of the fundamental possibilities of carrying out these operations within the railway system of the Republic of Kazakhstan.

During the experimental part of the study, acoustic sensors of partial discharges showed high efficiency in detecting partial discharges on the surface of the insulating layer of equipment of power transformer substations. This equipment, when using the acoustic emission testing method, demonstrated high performance.

Good results were also shown by the acoustic control method, since the promptitude of control and the possibility of taking readings without interrupting power voltage supply make it possible to reduce time of the experiment while obtaining high-precision results, to determine the causes of faults on the surface of the insulating layer of power transformers and to localise areas of occurrence of such defect most accurately.

Several proposals have been made on the role that the acoustic control method could play in the overall system for organising the inspection of the technical condition, operation, and repair of the electrical power equipment.

The results obtained indicate availability of various options for using acoustic emission testing methods and also confirm the need for their further improvement to achieve high quality of control of technical condition and functioning of railway power transformer substations.

Keywords: power transformer substations, train traction, railway rolling stock, acoustic diagnostics, acoustic emission testing, railway industry of the Republic of Kazakhstan, control of the technical condition.

For citation: Erkebaev, A. Zh. Control of the Technical Condition of Power Transformers by Acoustic Diagnostics. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 149–157. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Modern transformer stations are important for ensuring train traction within the system of electrified railways, for safe operational use of electric power equipment. This issue is quite relevant for the railway transport system of the Republic of Kazakhstan as well.

Most common and practically effective methods for monitoring the technical condition of power transformers comprise the method of acoustic emission testing, which involves location and point detection of the level of distributed sound discharges. Such discharges are those, shunting only a certain section of the insulating coating of a power transformer. They indicate the presence of local defects that require timely elimination. These can be weakening of the insulating coating due to formation of gas cavities, as well as to the appearance of sharp edges of metal structures [1]. Gas inclusions are weakened areas, regardless of the consistency of the insulating coating (solid or liquid), the weakening of which occurs due to a mismatch in the values of dielectric constant (permittivity) of the gas, as well as due to high electric field strength (intensity) that occurs in the inclusions, and which are several times higher than similar values at other points of the insulating coating. One should also consider the fact that the electric density index of a gas is significantly less than that of solid and liquid dielectrics. The occurrence of the described partial discharges is also possible in the immediate vicinity of the sharp edges of the electrodes, in the areas where the electric field strength increases significantly [2].

The need for timely monitoring of the technical condition of power transformers by acoustic diagnostics is largely due to frequent damage to the insulating coating of power transformers, which occurs due to frequent discharges in oil layers that are in direct contact with solid insulation. In such situations, stable conductive traces appear on the surface of a hard insulating coating. In such areas, due to the occurrence of excessive overvoltage, as well as *ма* operating voltages, surface-type discharges may occur, the development of which occurs continuously and ends with a breakdown of the insulating coating [3]. This indicates that partial discharges carry significant damage for the insulation of power transformers, due to the high probability of

destruction of the insulating coating in certain areas and development of breakdowns in insulation gaps.

Technical personnel, whose direct duties include maintenance of power transformer substations, are forced to directly face the problems of breakdowns in the insulating coating, as well as the appearance of partial discharges in the insulating layer, at high and ultra-high voltage values in substation lines. This explains the need for timely and high-quality monitoring of the technical condition of power transformers by the method of acoustic diagnostics to prevent insulation breakdowns and ensure the uninterrupted operation of power transformer substations [4].

The current situation necessitates research, the main tasks of which are: assessment of the technical condition of modern power transformer substations that are used within the railway transport system of the Republic of Kazakhstan with an emphasis on identifying current problems in the technical condition of oil-filled equipment, performed during monitoring of partial discharges; development and implementation of acoustic measurement techniques intended for the diagnosis and analysis of partial discharges on the insulating coating of transformer substations, as well as for determining the specific location of transformer insulation defects; conducting scientific experiments aimed at studying the existing methods of monitoring of the existing equipment of power transformer substations.

The problem of existing research on the issues of monitoring the current technical condition of transformer substations is the lack of detailed and reliable, practically verified scientific developments using acoustic techniques of diagnosis of the technical condition of power transformers [5]. This work *intends* wherever possible to fill a certain gap in the study of the topic of using acoustic diagnostic techniques to solve problematic issues related to monitoring the technical condition of equipment of power transformer substations. The study used information obtained experimentally when conducting specific scientific experiments.

MATERIALS AND METHODS

The basis of the methodology of this research is a combination of *methods* of system analysis of currently used approaches to

monitoring the current technical condition of power transformers using acoustic diagnostic methods, with an analytical study of the fundamental possibilities for carrying out these operations within the railway system of the Republic of Kazakhstan.

The theoretical basis of the research includes available publications of domestic and foreign researchers devoted to various theoretical aspects of developing fundamentals and creating methods for monitoring the technical condition of power transformers by acoustic diagnostics.

During the study, the following sequence of stages of the work performed was established.

The first stage included theoretical study of available scientific publications devoted to research on the concept of acoustic diagnostics, as well as on the monitoring of the technical condition of power transformers using these techniques. The theoretical study preceded a systematic analysis of currently existing approaches to monitoring the current technical condition of power transformers using acoustic diagnostic technology, which was also consistently performed at this stage of the research work.

The next stage comprised an analytical study of the features of monitoring of the technical condition of power substations by the method of acoustic diagnostics within the railway system of the Republic of Kazakhstan. Besides, this stage of the research concerned an analytical comparison of the obtained preliminary results with the results of research by other scientists, who had also studied the possibilities of monitoring the technical condition of transformer substation equipment through the practical application of the acoustic diagnostics method. This ensured the quite objective perception of the results obtained in the context of their subsequent implementation for solving specific problems arising during operation of transformer substations within the railway sector of a particular state.

At the final stage, the results obtained earlier allowed to formulate final conclusions.

RESULTS AND DISCUSSION

Completing the tasks of the research comprised conduct of experimental studies involving the placement of acoustic-type sensors on several transformers used as the

object of experimental study. «AC-Sensor» acoustic discharge sensors were used, designed for contact registration of partial discharge pulses on the surface of insulation and power equipment of transformer substations.

The methodology implied the following sequence of the study:

1. «AC-Sensor» which allows tracing the occurrence of partial discharges within the system, as well as characteristic acoustic impulses is attached to the device that records the level of partial discharges on the surface of the insulating layer of the power transformer. In case if it is possible to detect an area of partial discharges, several acoustic sensors of the specified type are located sequentially at a strictly defined distance from each other. The received acoustic signals are recorded and a clear sequence is built based on the received data.

2. The maximum allowable threshold value of the acoustic signal is experimentally determined, which can be further used for subsequent studies.

3. The threshold values of the settings are built directly in the areas of detection of partial discharges, the parameters of interference that occur when the signal level exceeds the specified threshold value are built as well. All these values are determined by the type of transformers and are calculated directly during the experiment based on specific initial data.

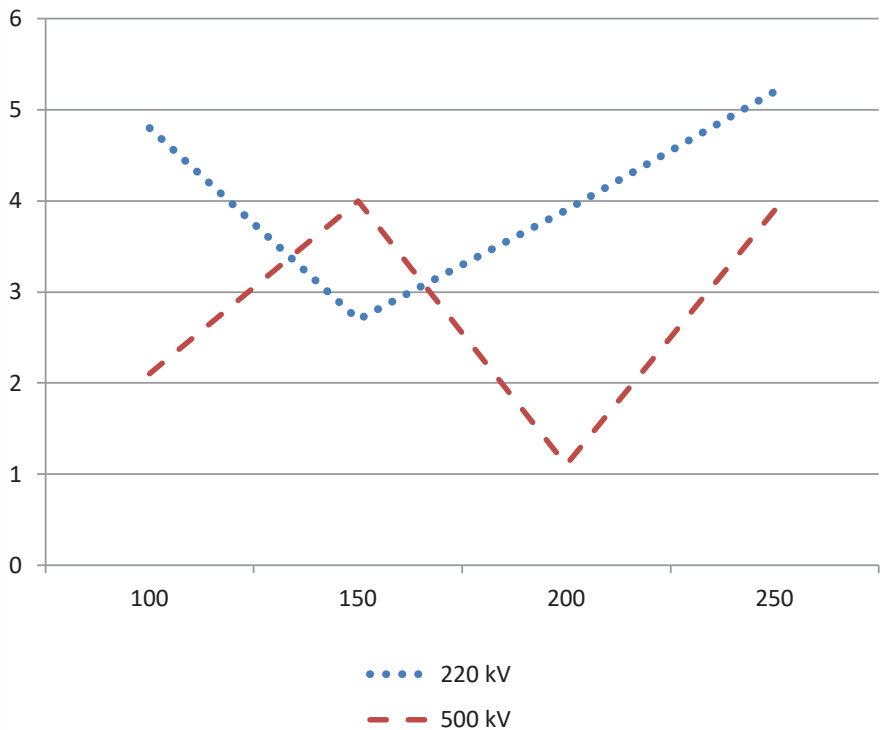
4. All measurements are taken within a predetermined period.

The distribution of the detected damage to the insulating layer of power transformers was carried out directly by the classes of voltages characteristic of transformers of a certain class. The data obtained during this distribution are presented in Table 1.

Based on the results obtained in the course of the study using «AC-Sensor» acoustic sensors, a graphical dependence of partial discharge pulses on acoustic pulses that occur when sensors are placed on the surface of the insulating layer is plotted. The data is presented for two transformers with different voltage classes: 220 kV and 500 kV. A graphical dependence of this kind is shown in Pic. 1.

As can be seen from the data presented in Pic. 1, a uniform increase in the dependence of the indicators under consideration takes place in the case of the practical use of power transformers with a voltage class of at least





Pic. 1. Dependence of partial discharge pulses on acoustic pulses arising when sensors are placed on the surface of the insulating layer [compiled by the author].

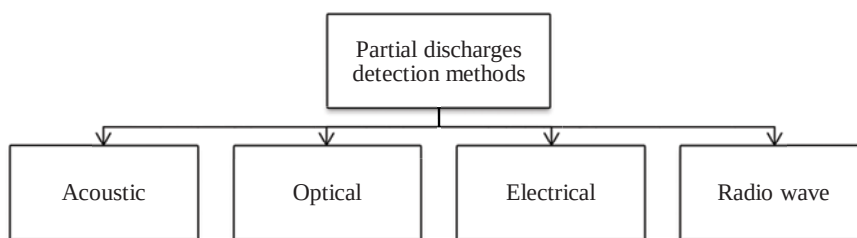
500 kV. When using power transformers with parameters of other voltage classes, there is practically no systematic development of the dependence of partial discharge pulses on acoustic pulses that occur when sensors are placed on the surface of the insulating layer, which in some cases may indicate a high probability of breakdowns of the insulating layer of the power transformer and the emergence of an accident [6]. Besides, there are significant differences in the dependence of the studied parameters in a number of cases, which may indicate violations of the operational use of power transformers and problems with the quality of the material of the insulating layer, which extremely negatively affects the general condition of power transformer substations in the context of the prospects for their practical use in the future within the railway transport system of Kazakhstan.

Methods for detection of partial discharges and their measurement are fundamental from the point of view of studying the prospects for monitoring the technical condition of the equipment of power transformer substations. Pic. 2 shows the main methods for monitoring partial discharges and their detection in the context of the prospects for their use for monitoring the technical condition of power railway substations. The acoustic control methods presented in this chart are the main ones in the context of the research and are the most promising ones in terms of the possibility of carrying out high-quality control of the technical condition of power transformers, without interrupting their operation and turning them off to perform the necessary study.

Acoustic methods for detecting partial discharges involve searching and successively

Table 1
Data on distribution of the damages of the insulating layer of power transformers detected during the experiment per voltage classes [compiled by the author]

Voltage class	110 kV	150 kV	220 kV	330 kV	500 kV	750 kV	1100 kV
Damage	42	28	34	15	6	1	5



Pic. 2. Methods of control of partial discharges and their detection [compiled by the author].

detecting, as well as measuring the magnitude of oscillations caused by partial discharges. The high frequency of such sound vibrations can only be determined using special recording equipment. In addition, the time and place of occurrence of such a discharge, as well as its power, are determined. In the future, the use of special equipment for recording changes in the amplitude of sound vibrations can be essential for obtaining high-precision results that reflect the real possibilities of using acoustic methods for detecting partial discharges.

For practical use of each method, it is assumed to use sensors of various kinds, which basically use the principles of the transformation of acoustic and electromagnetic oscillations in a certain frequency range: microwave, high frequency, medium frequency, and low frequency. The range of these sensors can vary significantly depending on the type of transformer equipment and the features of its insulating layer. Also, when choosing a method and type of measurement, it is necessary to consider the tasks to be solved and the parameters of the electric power transformer unit of the railway transport facility. To determine the parameters of frequency discharges over short distances, microwave sensors demonstrate high efficiency. Moreover, they are very compact and can be easily placed in the internal space of power units, such as the stator of an electric motor.

Particular attention when recording partial discharges in the insulating coating of power transformers should be given to discharges of this kind that occur in oil layers that come into direct contact with solid-type insulation. In such cases, as a rule, damage to the solid insulating layer cannot be avoided, which implies the need for subsequent repair work to restore the damaged insulating coating. This causes a significant danger posed by partial

discharges for electric power equipment, in the context of the possibility of its rapid destruction in certain areas and the occurrence of breakdowns of the insulating layer.

To avoid the occurrence of such a situation, it is necessary to implement a set of measures, in general, focused on:

- Monitoring of partial discharges to form a qualitative assessment of the technical condition of oil layers of the equipment of power transformer substations, as well as to assess the possibility of breaking the solid insulation layer due to the effect of partial discharges on oil layers.
- Implementation of equipment for diagnosing and analysing the magnitude of partial discharges and formation of defective areas in the insulating coating of power transformers on an industrial scale.
- Carrying out scientific experiments in the field of diagnosing the current technical condition of the equipment of power transformer substations and ensuring their subsequent uninterrupted operation, considering the possibility of destruction of the insulating layer.

The prospects for development of the railway system of the Republic of Kazakhstan are largely built on the high-quality work of electric power equipment, and in this context, the issues of monitoring the technical condition of power transformers by acoustic diagnostic methods play a crucial role, since they allow maintaining the functioning of all equipment of transformer substations at the proper level for a long period of time without carrying out major repairs and ensuring high-quality maintenance of equipment of transformer substations and timely detection of all possible failures in operational use.

Over the past few decades, the energy departments of individual enterprises of the railway industry and the energy sector of the



economy of Kazakhstan as a whole, have gradually begun to adopt tendencies towards a consistent transition from the practice of carrying out scheduled repairs, designed to prevent the occurrence of malfunctions of the electrical equipment of the railway transport and prevent the occurrence of problems in the energy system of the railway rolling stock, to identification and elimination of real errors in the technical condition of electrical equipment, which is mainly practiced in countries with developed economies and a well-functioning railway transport system. This state of affairs involves development and implementation of a set of methods for the timely diagnosis of the state of electrical equipment [7].

The uninterrupted operation of power transformers should be considered a factor that largely determines safety of operation of industrial enterprises, as well as the reliability and quality of the supply of electrical energy to organisations belonging to various economic sectors. The high-quality functioning of power transformers ensures the coordination of the operation of transformer substations with the system, as well as the transformation of a whole list of electricity parameters into those necessary for its subsequent practical application. A significant level of wear and tear of transformer equipment creates a potential hazard for both end users and personnel whose direct duties include servicing transformer substation equipment and monitoring their technical condition [8].

The energy security of rail industry enterprises using power transformers, which largely determine quality of power supply and reliability of operation of the entire power system of railway transport, requires establishment of a clear system for monitoring the technical condition of power transformers, through the use of various control methods, one of which is the method of acoustic diagnostics [9]. The use of transformers is risky in itself, and the high degree of risk of such use represents a significant danger both for the end consumers of electrical energy and for the maintenance personnel of transformer substations.

The introduction of diagnostic equipment into the practices of monitoring the condition of transformer substations involves development of a series of preparatory measures aimed at obtaining information on

current key issues: identifying the total number of power transformers with an expired service life that are capable of provoking an increased number of failures during their further use; the current quality of monitoring of the functioning of power transformer substations; detected cases of violation of the principles of operation of power transformer substations, in accordance with the provisions of state industry standards; the possibility of a gradual transition from the practice of carrying out scheduled repairs to repairs based on real problems of the technical condition of transformer equipment [10]. At the same time, it should be considered that operation of transformer equipment after the expiration of its warranty period is a generally accepted practice throughout the world, even though without taking appropriate measures to prevent and avoid accidents, it is associated with considerable dangers for the equipment of transformer substations. Another important aspect is the practical impossibility of replacing a large amount of transformer equipment in a short time; in addition, it is unprofitable from an economic point of view.

In modern economic realities, development and practical application of methods for monitoring the technical condition of equipment of power transformer substations are among the main tasks of the technical control services of enterprises using equipment of this kind in their practical activities. Unscheduled shutdowns of power transformer substations, which occur due to an emergency failure of transformer equipment, lead to significant material losses, and in some cases can result in unpredictable consequences [11]. In this context, the tasks of timely monitoring of the state of power transformers used in the railway industry are of particular importance, since they are inextricably linked with quality of functioning of railway rolling stock and contribute to an increase in the overall level of safety of the railway industry.

Over the past two decades, to diagnose the technical condition of power transformers, the method of registering partial discharges in high-voltage equipment of power systems has been used. Such a technique has shown high efficiency being directly used by various industries, including the railway transport system, thanks to the high results obtained. Besides, good results were achieved using the method of identifying zones of electromagnetic

activity, which was used exclusively on the surface of the transformer and involved the installation of measurement sensors on this surface, as well as of other measuring devices. Such measures made it possible to formulate a full-fledged conclusion regarding the technical condition of the power transformer assembly, in which defects, problems of the insulating layer, malfunctioning of the barriers and of the arc of the magnetic circuit, the appearance of sparks, etc., were found [12]. Information of this kind, along with data on the types of the discharge phenomenon taking place and its location, can be identified with the design features of both the transformer itself and its active part. Thus, performance reliability indicators can be predicted with a high degree of certainty since the conclusion regarding the possibility of further operation is formed based not on just general estimates of the characteristics of partial discharges but considering their exact location. In this context, it should be noted that the appearance of partial discharges in the places of fastening of the magnetic circuits of transformers is not of significant importance, since small values of partial discharges in the coiled insulation cannot cause significant damage to the structure.

Constant monitoring of the current technical condition of the equipment of power transformer substations of the railway transport system is one of the main tasks of the modern system for ensuring the energy security of the specified transport system. In this context, the control of the technical condition of power transformers by acoustic sounding seems to be one of the most favourable methods for ensuring the uninterrupted operation of the transport energy system, considering the peculiarities of functioning of railway transport under the modern economic conditions. In general, it is the high-quality and reliable operation of power transformers that is a necessary condition for consistent conversion of a series of energy parameters into the values necessary for the further use of electrical energy. At the same time, it is imperative to consider the degree of risk of using the equipment of transformer substations, since violations of the operating conditions of power transformer equipment can cause significant problems for both maintenance personnel and end consumers of electrical energy [13].

Modern equipment of power transformer substations, which are used in various nodes and facilities of the railway transport system, requires regular quality control of the technical condition of power transformer substations using the most modern diagnostic methods. The parallel use of various methods for diagnosing the technical condition of power transformer equipment makes it possible to obtain optimal results when comparing the effect of using several diagnostic methods, as well as to select the optimal control method based on the realities of the current situation. In addition, diagnostics of the state of transformer equipment is necessary for timely detection of defects that can have detrimental consequences from the point of view of safety of operation of power transformer substation equipment. In this context, during the diagnostics and after its completion, special attention should be paid to organisation of high-quality repairs and elimination of detected defects, which subsequently will ensure full functioning of power transformer substations for a long time [14].

At the same time, the system of monitoring of the technical condition of power transformer substations increases the efficiency of the functioning of power transformers of railway transport facilities, since the frequency of checks, combined with their quality and focused character, allows preventing the occurrence of damage and other design defects, which eliminates the subsequent occurrence and development of problem situations, associated with violations of the rules for the operation of transformer equipment. In this context, it should be noted that power transformers belong to the group of electrical equipment with the highest frequency of damage [15]. Studies conducted at different times have demonstrated that high-voltage transformer bushings are characterized by the greatest damageability, since they account for about 22 % of all damages, while windings account for approximately 16 %, and on-load tap changers (OLTC, intended for voltage regulation at load) account for 13,5 %. It is noted that such damage occurs with the same frequency in transformers with different service life, while in relation to transformers with a service life of 10 to 30 years, it is true that they have the highest frequency of failure of the on-load tap-changer equipment. It was



also noted that after 10 years of operation of power transformer substations, the frequency of damage to high-voltage bushings increases. In this case, one should take into account the fact that the most significant problem of power transformers, leading to disruption of their operation, sometimes for a long time, is a short circuit [16]. According to the analytical information received, damage to the windings of power transformers leads to short circuits in 80 % of all cases of violations and of the total number of damages to transformer windings, damage to high-voltage inputs – in up to 89 % of all cases, failure of the on-load tap changer – in up to 25 % of all cases, while damage to other nodes, as well as errors during installation, various situations that arise during the operation of equipment and its repair together give up to 36 % of all cases of short circuits [17].

Carrying out high-quality diagnostics of the current technical condition of power transformers used at various railway facilities often requires the use of special devices, as well as additional methods for locating electromagnetic activity zones on the surface of the transformer. The set of methods used to ensure high quality of checking the technical condition of power transformers, involving the use of acoustic diagnostic techniques and related ones, provides a wide variability of monitoring data, that provides possibility to obtain a complete picture of the current state of the power supply system of various railway transport facilities and of the prospects for development of the industry in the future [18].

Maintaining the high quality of work on diagnosing the state of electrical equipment and ensuring a high level of work on prevention of breakdowns of power transformers during operation is facilitated by special experimental studies aimed at establishing the relationship between the technical condition of transformer substations and quality of functioning of the energy system of railway transport as a whole [19]. The conduct of research of this kind makes it possible to assess the quality of work of transformer substations and to form a set of measures aimed at improving the functioning of transformer substations, considering the need for repair and recovery work in case of breakdowns of the main equipment of power lines. In this case, repair and recovery work should be carried out considering the features of specific types of

transformers and the degree of breakdowns, and the quality of repair of equipment of power transformer substations is closely related to the efficiency of determining the causes of breakdowns in electrical equipment, as well as the time of their detection [20].

Thus, the issues of monitoring the technical condition of power transformers by the method of acoustic diagnostics require a detailed study to form a qualitative understanding of the issues of ensuring energy security and the integrity of the most important nodes and objects of railway transport, which include the equipment of power transformer substations. At the same time, the level of safety of these facilities should be correlated with the level of implementation of measures aimed at maintaining safety of the entire energy system.

CONCLUSIONS

The study of the key aspects of monitoring the technical condition of power transformers by the method of acoustic diagnostics led to the following conclusions.

«AC-Sensor» resonant acoustic partial discharge sensors have shown high efficiency in detecting partial discharges on the surface of the insulating layer of power transformer substation equipment. This explains broad prospects for the use of sensors of this type in the future, when conducting experimental research and work to determine the main features of the technical condition of power transformers using acoustic diagnostic methods. This equipment has demonstrated high performance when this method was directly used.

In general, the acoustic method of control has shown good results, since its main advantages, such as the efficiency of control and the possibility of taking readings, while maintain a continuous supply of power voltage, can reduce in general time of the experiment and to obtain high-precision results. Besides, the method of acoustic diagnostics and the use of «AC-Sensor» partial discharge sensors have shown high efficiency in determining the causes of faults on the surface of the insulating layer of power transformers, as well as the possibility of the most accurate localisation of areas of occurrence of such damage.

Subsequent diagnostic examinations of power transformers used within the railway transport system of the Republic of Kazakhstan,

using acoustic diagnostic techniques can significantly expand the understanding of the possibilities of using this technique to resolve issues of assessing the technical condition of modern transformer substations.

The results obtained during the research, can serve in future as a qualitative theoretical basis for further research on the problems and issues of monitoring the technical condition of power transformers, performed using various modern techniques, which are capable to bring research in the field of ensuring safety of the operational use of electric power equipment used in the railway transport system today to a qualitatively new level.

REFERENCES

1. Forsthoffer, M. Forsthoffer's Component Condition Monitoring. 1st ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2018, 204 p. ISBN 9780128097724.

2. Papaalias, M., Marquez, F. P. G., Karyotakis, A. Non-Destructive Testing and Condition Monitoring Techniques for Renewable Energy Industrial Assets. 1st ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2019, 404 p. ISBN 9780128097472.

3. Kaneko, A.; Xiao-Hua, Zhu; Ju, Lin. Coastal Acoustic Tomography. Oxford, Elsevier, 2020, 362 p. ISBN 9780128185070.

4. Meshkinzar, A., Al-Jumaily, A. M., Harris, P. D. Acoustic Amplification Utilizing Stepped-Thickness Piezoelectric Circular Cylindrical Shells. *Journal of Sound and Vibration*, 2018, Vol. 437, pp. 110–118. DOI: 10.1016/j.jsv.2018.08.033.

5. Kuznetsov, A. A., Kuzmenko, A. Yu., Kuznetsova, M. A., Simakov, A. V. Identification of threshold values while diagnosing insulation of high-voltage equipment by the methods of registration of partial discharges [Opređenje porogovih značenja pri diagnostiranju izolacije visokovoltne opreme metodom registracije parcijalnih razряда]. *Omskiy Nauchnyy Vestnik*, 2019, Iss. 2 (164), pp. 30–35. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-164-30-35.

6. Janssen, L. A. L., Arteaga, I. L. Data processing and augmentation of acoustic array signals for fault detection with machine learning. *Journal of Sound and Vibration*, 2020, Vol. 483, article number 115483. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115483.

7. Karandaev, A. S., Evdokimov, S. A., Karandaeva, O. I., Mostovoy, S. E., Chertousov, A. A. Control of the technical condition of power transformers by acoustic diagnostics [Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya silovyykh transformatorov metodom akusticheskogo diagnostirovaniya]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy*, 2018, Iss. 26, pp. 26–31. [Electronic resource]: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/662/5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Last accessed 27.05.2021.

8. Karandaev, A. S., Evdokimov, S. A., Devyatov, D. Kh., Parsunkin, B. N., Sarlybaev, A. A. Diagnostics of power transformers by acoustic location of partial discharges

[Diagnostirovaniye silovyykh transformatorov metodom akusticheskoi lokatsii chastichnykh razryadov]. *Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2012, Iss. 1, pp. 105–108. [Electronic resource]: http://www.vestnik.magt.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%AB%D0%BA_2012_1_%D1%81_105-108.pdf. Last accessed 27.05.2021.

9. Malik, H., Fatema, N., Iqbal, A. Intelligent data-analytics for condition monitoring: Smart Grid Applications. London, Academic Press, 2021, 491 p. ISBN 9780323855112.

10. Blanloeul, P., Francis Rose, L. R., Veidt, M., Wang, Chun H. Time reversal invariance for a one-dimensional model of contact acoustic nonlinearity. *Journal of Sound and Vibration*, 2017, Vol. 394, pp. 515–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.01.050>.

11. Arroyo, C. P., Leonard, T., Sanjose, M., Moreau, S., Duchaine, F. Large eddy simulation of a scale-model turbofan for fan noise source diagnostic. *Journal of Sound and Vibration*, 2019, Vol. 445, pp. 64–76. DOI: 10.1016/J.JSV.2019.01.005. [Electronic resource]: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02419816/document>. Last accessed 27.05.2021.

12. Weilenmann, M., Noiray, N. Experiments on sound reflection and production by choked nozzle flows subject to acoustic and entropy waves. *Journal of Sound and Vibration*, 2021, Vol. 492, article number 115799. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115799.

13. The Power Grid: Smart, Secure, Green and Reliable. 1st ed. Editor Brian W. D'Andrade. London, Academic Press, 2017, 352 p. Paperback ISBN 9780128053218, eBook ISBN 9780081009529.

14. Bjørnø, Leif. Applied Underwater Acoustics. 1st ed. Editors Th. Neighbors, D. Bradley. Oxford, Elsevier, January 19, 2017, 980 p. eBook ISBN 9780128112472, Paperback ISBN 9780128112403.

15. Correa, J. C. A. J., Guzman, A. A. L. Mechanical Vibrations and Condition Monitoring. 1st ed. London, Academic Press, 2020, 208 p. Paperback ISBN 9780128197967, eBook ISBN 9780128203903.

16. Varanasi, S., Siegmund, T., Bolton, J. S. Acoustical characteristics of segmented plates with contact interfaces. *Journal of Sound and Vibration*, 2020, Vol. 485, article number 115584. DOI: 10.1016/j.jsv.2020.115584. [Electronic resource]: <https://arxiv.org/pdf/2102.04987v1.pdf>. Last accessed 27.05.2021.

17. Elasha, F., Greaves, M. J., Mba, D., Fang, D. A comparative study of the effectiveness of vibration and acoustic emission in diagnosing a defective bearing in a planetary gearbox. *Applied Acoustics*, 2017, Vol. 115, pp. 181–195. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.07.026>. [Electronic resource]: <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/11144>. Last accessed 27.05.2021.

18. Kuryliak, D., Lysenko, V. Acoustic plane wave diffraction from a truncated semi-infinite cone in axial irradiation. *Journal of Sound and Vibration*, 2017, Vol. 409, pp. 81–93. DOI: 10.1016/j.jsv.2017.07.035.

19. Wang, Yuebing; Sun, Min; Cao, Yonggang; Zhu, Jiang. Application of optical interferometry in focused acoustic field measurement. *Journal of Sound and Vibration*, 2018, Vol. 426, pp. 234–243. DOI: 10.1016/j.jsv.2018.04.023.

20. Yang, Lietai. Techniques for Corrosion Monitoring. 2nd ed. Sawston, Woodhead Publishing, 2020, 618 p. ISBN 978-0-08-103003-5.

Information about the author:
Erkebaev, Aibek Zh., Ph.D. student at the Department of Railway Power Supply of Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia / Almaty, Kazakhstan, erkebaev7397-1@murdoch.in.

Article received 08.12.2021, approved 14.02.2022, accepted 21.02.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-3>World of Transport and Transportation,
2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 158–164

Application Potential of Express Diagnostics Package (Exsys, IMDC-2) for Diesel Locomotive Engines

**Vyacheslav V. Egorov***Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
(RSAU – MTAA), Moscow, Russia.*✉ egorov-empt@rgau-msha.ru

Vyacheslav V. EGOROV

ABSTRACT

The paper reveals aspects of application of the hardware and software package developed by the author for express diagnostics of internal combustion engines.

The objective of the research was to develop algorithms, hardware and software framework for system diagnostics of diesel engines as a comprehensive methodology aimed at localising faults in the best way.

Research methods included mathematical modelling for building the algorithm of the expert system; methods of observation and experiment used in the design work and improvement of the developed hardware and software package.

The use of on-line diagnostics methods is the main factor for the transition to a more efficient condition-based maintenance system, which makes it possible to prevent sudden failures due to diagnostics made during the simplest types of maintenance, as well as to avoid dismantling of nodes with a resource sufficient for further operation. On-line diagnostic methods are divided into organoleptic and indicator ones and belong to the first two levels of system diagnostics as a practical methodology and scientific discipline.

Organoleptic data are based on human perception organs and can be formalised using the Exsys expert system developed by the author based on open databases on correlation of faults with their symptoms, which makes it possible to localise the fault in an interactive mode based on the totality of observed external features, such as smoky exhaust of a certain colour, unstable idling, etc.

The second development, which is the IMDC-2 package, refers to indicator methods, representing a subclass of dynamic diagnostics. The package consists of an analog-to-digital converter with a shaft speed sensor mounted on the engine and a computer program that interprets the received data. IMDC-2 allows determining the engine power, building acceleration / coasting retardation curves, and obtaining several other characteristics important for diagnostics, for example, the dependence of the angular acceleration of free acceleration of the engine on the frequency of rotation of its shaft. Both developments can be fully applied after minor modification to diesel locomotive engines, which will increase the accuracy of fault detection and reduce the time for their localisation.

Keywords: transport, diesel locomotive engine, internal combustion engine, technical diagnostics, expert system, indicator methods.

For citation: Egorov, V. V. Application Potential of Express Diagnostics Package (Exsys, IMDC-2) for Diesel Locomotive Engines. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 158–164. DOI: [10.30932/1992-3252-2022-20-1-3](https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-3).

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The growth of availability factor is among key factors in increasing the performance of enterprises of transport and other sectors in the current economic environment. In other words, it means the reduction of downtime for technical maintenance (TM) and technical maintenance and repair (TMR) with a corresponding increase in useful work time. These goals can be achieved by implementing condition-based maintenance elements. Within the framework of this system, the frequency of TMR of various components of the object (locomotive, tractor, car...) is determined by diagnosing the resource when performing the lowest possible types of TMR.

A flexible system of diagnostic methods, tools and technologies is called system diagnostics. Its scientific substantiation in the country was obtained back in the early 1970s by V. I. Belskikh, V. M. Mikhlin, V. A. Chechet, researchers at the GOSNITI Institute. During the experiment reflected in [1], it was determined that adjustment of repair and maintenance actions based on the results of pre-repair diagnostics of tractors makes it possible to reduce the volume of overhauls by almost 30 %, including through the execution of part of major repairs during current repairs. Also, the adoption of elements of condition-based maintenance makes it possible to reduce the number of failures during operation, and, consequently, the number of unscheduled repairs (for the agricultural industry in which the described experiment was carried out, this factor is especially important, since the operation of high-power engines is time focused, and the failure of even a single vehicle can seriously affect the performance).

The structure of the repair cycle in transport sector is similar to that used in the agro-industrial complex, so the adoption of system diagnostics can be carried out using similar algorithms. Also, overall checkout allowing improvement of road safety is used at the authorised car inspection points, the equipment of which is discussed in detail in the monograph [2].

Currently, the intensive development of microprocessor technology, including analog-to-digital converters (ADC), makes it possible to significantly expand the possibilities of diagnosing both internal combustion engines and elements of the traction engines of locomotives and other mobile vehicles. The possibility to connect ADC to a computer with further displaying of output readings for current

indication and further processing. In addition, such a diagnostic format allows reducing the number of mechanical elements in diagnostic equipment, limiting it to installing sensors only (pressure, vibration sensors, etc.). All this, coupled with modern methods of data processing, improves the accuracy, and reduces the complexity of diagnosing.

Research Objective

The general objective of diagnostics is to localise faults that caused one or another failure, or to determine the residual resource of the object. In the framework of this work, the *objective* of research and design is development and modernisation of methods and tools for diagnosing internal combustion engines, focused on the methodology of system diagnostics.

Research Methods

The development of the described hardware-software is closely related to the *methods* of observation and experiment. Mathematical modelling was used to develop the algorithmic core of the expert system. A literature review is also an important method allowing to specify the requirements for the results of the work, as well as to avoid possible errors.

Review of Modern Methods of Express Diagnostics of ICE

Within the framework of system diagnostics, the work [3] by the staff of the department of Machine and Tractor Fleet Operation and High Technologies in Crop Production of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU–MTAA), including the author, outlined that basics and assumed division into three levels of diagnostic methods and tools: organoleptic, indicator and in-depth ones.

The first level suggests formalising the *organoleptic signs* of engine operation and using the data obtained to make a diagnosis. Organoleptic signs are those characteristics of the operation of an object that can be obtained without special tools, only with the help of the senses. Such signs include exhaust colour, unstable engine operation, overheating, etc.

Precisely, the main task here is to formalise the signs and to comprehensively use them. Such intellectual tasks can only be solved by experts in the field of diagnostics owing extensive expertise in operation and



maintenance of internal combustion engines. Specialists of this level are a very valuable and rare human resource. The so-called expert systems, which are in a certain sense artificial intelligence that simulates the thinking of expert diagnosticians, are capable of partially taking over their duties. The input data for expert systems can consist of both organoleptic signs and sensor readings.

In domestic practices, expert systems are developed mainly for analysing data obtaining from sensors installed on an object for diagnostics. There is an opinion that the onboard electronic systems of ground vehicles have a wide range of diagnostic capabilities, however, as established by the author in [4], this is fully true only for vehicles such as modern diesel locomotives. In particular, the authors of [5] developed an expert system that uses the readings of on-board sensors of a diesel locomotive to monitor operation and make diagnoses. With regard specifically to diesel engines, domestic scientists have developed several expert systems similar to those described in [6] however, their use is limited by the fact that these systems are only models that require external software for operation. Thus, it is of interest to implement a self-sufficient expert system that can work without being tied to other software.

The second level of system diagnostics includes *indicator methods* that allow getting readings online using sensors, the installation of which is not laborious. A characteristic feature of such methods is that they are not too high accurate, which is compensated by the efficiency and complex use of indicator diagnostics. Data from a single method are unable to give a full representation of the state of the object, but additional studies can significantly increase the accuracy of the diagnosis.

As a rule, indicator methods are subdivided, according to the physical processes underlying them, into, for example:

- Pneumatic methods that use parameters of state (pressure, including its dynamics, flow rate) of the gaseous medium at various points of the engine. Similar methods are described, for example, in [7].

- Hydraulic methods, during which the indicators associated with the operating fluids of the engine (oil, fuel, coolant) are observed [8].

- Acoustic and vibrational methods based on the analysis of oscillograms of mechanical vibrations [9].

- Electrical methods focused on the processes occurring in the electrical equipment of the engine: for example, analysis of the starter current oscillogram.

- Dynamic methods allowing based on engine dynamics (acceleration, retardation, idle behaviour) to detect a decrease in its performance and to set key points for further troubleshooting.

In-depth methods, which constitute the *third level* of system diagnostics, have the highest accuracy of diagnosis, but require partial disassembly of the engine to access the diagnosed nodes. Regarding diesel engines, in-depth methods are studied, for example, at the department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport by V. N. Balabin, V. Z. Kakotkin, I. I. Lobanov, and are described in the work [10].

Foreign experts have formed a slightly different approach to the diagnosis of internal combustion engines since diagnostics practices of some countries comprise also monitoring of the environmental performance of the engine and even direct inspection of the combustion processes in the cylinder. The monograph [11] of the authors from India and the USA illustrates this approach addressing many issues related to diesel engines. In Eastern European countries, the concept of diagnostics is closer to domestic practices, for example, the article [12] of the Slovakian authors considers in similar way the issues of diagnosing the engine of a 812 series rail bus.

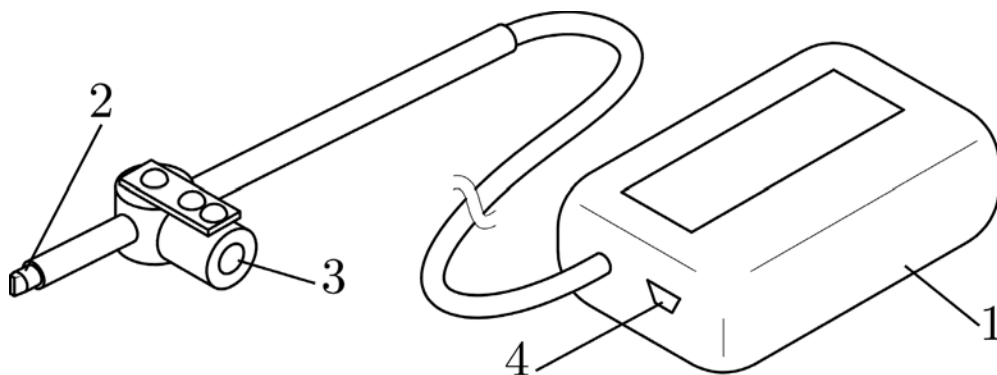
RESULTS

Package for Express Diagnostics of ICE and its Modernisation

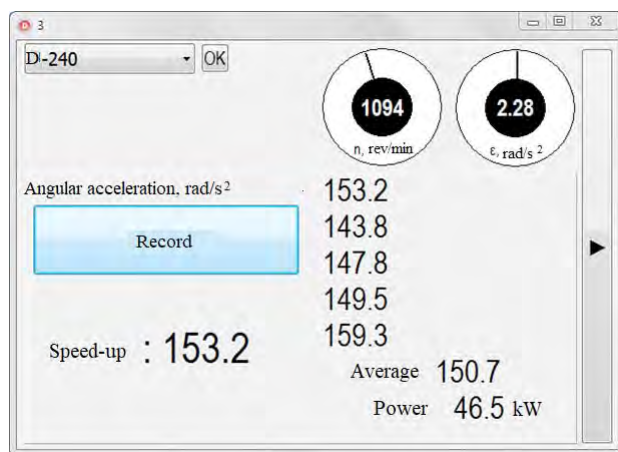
The author has developed and is upgrading a hardware and software package for express diagnostics, consisting of the Exsys expert system (registration certificate [13]), and IMDC-2 package for dynamic diagnostics.

The Exsys expert system is based on fuzzy logic and uses the conditional probabilities P_{ij} of the presence of the sign S_j in the event of a fault D_i . The so-called force coefficient S_i is also considered, which characterises the strength of manifestation of the observed feature or the operator's confidence in its presence. After the user selects the signs, the first pass of the so-called inverse algorithm based on double negation is implemented:

$$P_i = 1 - \prod_j (1 - s_j \cdot P_{ij}). \quad (1)$$



Pic. 1. IMDC-2 device [compiled by the author].



Pic. 2. IMDC-2 interpreter program interface. Based on translated screenshot during the operation of D-240 engine [made by the author].

The algorithm determines the probabilities P_i of the presence of faults («a posteriori»), presented by the program in the form of a list in descending order. If for any of the faults the established accuracy of diagnosis (80 %) was not obtained, the system in the dialogue mode with the user highlights the so-called prevailing faults, in which the a posteriori probability is higher than 0,5 of the maximum probability. For each of those faults, the prevailing signs are determined by a similar mechanism. The next step of the algorithm is to calculate the maximum relative deviation Δ_{rel}^{max} using formula (1) to determine the most characteristic, «contrasting» features that allow the most efficient separation of possible faults:

$$\Delta_{rel}^{max} = P_{max} \left(\frac{P_{max} \cdot N}{\sum_{j=1}^N P_{ij}} - 1 \right), \quad (2)$$

where P_{max} is the maximum conditional probability for the current feature;

N – the number of considered prevailing faults.

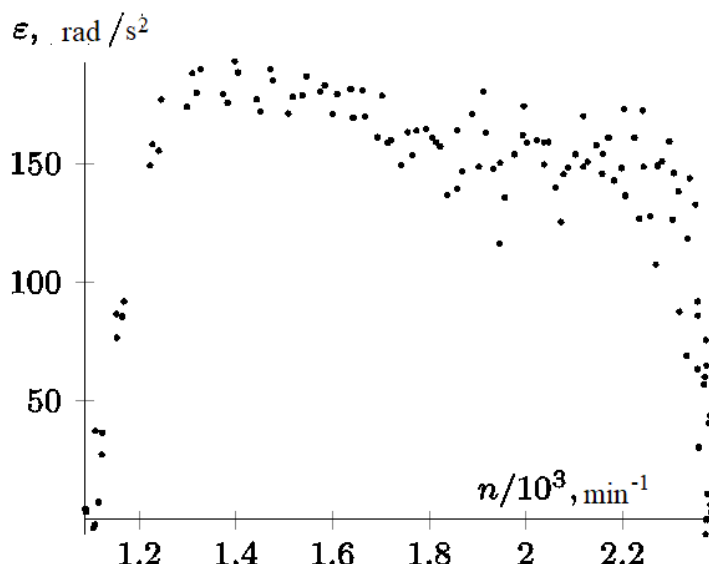
After reaching the required accuracy of the diagnosis or when the possibilities of the dialog mode are exhausted, the program displays the final list of possible malfunctions. Once a specific fault is selected, a brief help on it is displayed.

Within the Exsys system, a theoretical basis for recognition of indicator signs has also been created followed by further transformation into conditional probabilities.

Exsys version 1.0 is implemented in the Delphi programming language.

The IMDC-2 hardware-software package is designed to determine the dynamic performance of the engine in transient conditions. The principle of operation of the package is based on measuring the crankshaft speed and determining its dynamics. The name of the package is a direct reference to the IMD-C device, developed in the 1980s, but now obsolete. Both devices can determine engine power without the use of stationary equipment, such as rheostat testing bench or engine dynamometer system, the





Pic. 3. Dependence of the angular acceleration of the crankshaft speed-up on the frequency of its rotation (D-240 diesel engine). Experimental data, rendered using PGFPlots [compiled by the author].

operation of which for cars is considered in the article [14].

IMDC-2 is shown in Pic. 1 and consists of a sensor 2, its mount 3 and ADC 1 connected to the computer. The sensor detects the passage of a magnet glued into the marker disk mounted on the engine crankshaft pulley. An interpreter program is installed on the computer, which in accordance with Pic. 2, displays the current motor shaft speed and its angular acceleration. Diagnostics is performed by sharply pressing the fuel supply control pedal. While the engine speed increases to the maximum, the program displays the obtained angular acceleration at the point of nominal speed. According to the results of five consecutive measurements, the average value of the angular acceleration is identified, then based on this value and the digitised nomograms¹, the engine power is determined. After the «Record» button is pressed, the following indicators are recorded in the file: time of one revolution in microseconds, rotational speed, and angular acceleration of the motor shaft. Also of great interest are the obtained dependences of angular acceleration on engine speed, the shape of which, presumably, can change depending on engine malfunctions, which is subject to further research

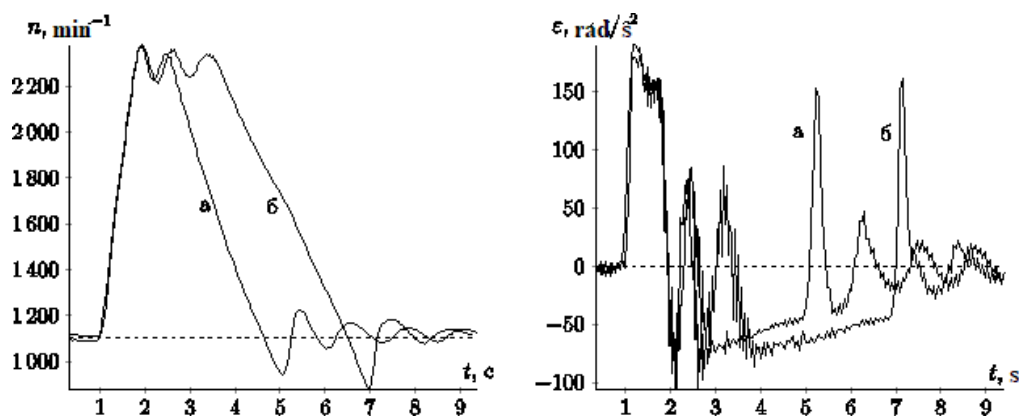
on a wide range of engines' models. A characteristic of that kind is shown in Pic. 3. When considered using the time axes, the acceleration characteristics (Pic. 4) can be useful for diagnosing the diesel controller, which is partially considered in [15].

The IMDC-2 package is made using a low-budget hardware basis, which allows it to be widely used in locomotive depots (sheds), at technical inspection points and even in the field conditions. The installation of the sensor and the marker disk is carried out quickly, the only condition is to stop the diesel engine.

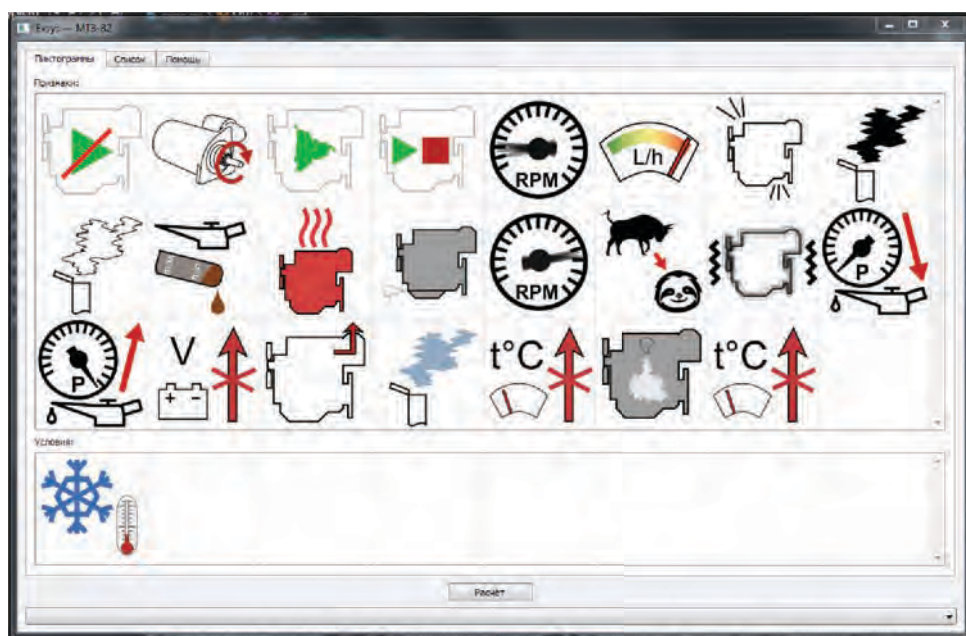
The weak points of the first generation of the package include the following factors:

- The use in the expert system of databases based on Microsoft Excel tables requires the installation of additional software not only for editing bases, but also for direct interaction of the expert system with them.
- Complexity of using formula data: the Delphi language, despite its convenience, is outdated and does not have a mechanism for recognising and transferring text formulas into program code.
- Low data transfer rate from ADC: data is transmitted in text form, which significantly reduces the sampling rate of the received data.
- Reduced accuracy compared to the IMD-C instrument, which, however, is compensated by an increase in measurement repetitions. Besides, the inaccuracy of tuning is completely excluded in IMDC-2.

¹ Chechet, V. A., Egorov, V. V., Maistrenko, N. A., Butuzov, A. E., Levshin, A. G. Technical diagnostics of tractors: Study guide [Tekhnicheskaya diagnostika traktorov: uchebnoe posobie]. Moscow, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2018. [Electronic resource]: <http://elbib.timacad.ru/dl/full/s05032022tdtEgorov.pdf/en/info>. Last accessed 27.08.2021.



Pic. 4. Oscillograms of engine speed and angular acceleration (D-240 diesel engine).
Experimental data, rendered using PGFPlots [compiled by the author].



Pic. 5. Graphical interface of the Exsys v2.0 expert system. Screenshot during diagnostics of D-240 diesel engine [compiled by the author].

In this regard, the author is currently completely updating the software base of the package based on the Python language, which is widely used to solve problems of scientific research and artificial intelligence. The results obtained include the following:

- Due to the transition to byte-by-byte data transmission, the sampling rate has been increased to 7 kHz, which makes it possible to integrate a low-budget oscilloscope with that hardware basis to record cyclic processes occurring in the engine.

- Expert system database files do not depend on external software and store all the necessary

data with the possibility of including formulas, images, etc.

- Due to the use of the PyQt graphical shell, the convenience of working with the expert system has been significantly improved, including the transition to the use of symbolic graphics (Pic. 5).

Adaptation of the package for diesel locomotive engines does not seem to be a difficult task, since the processes occurring within the engines are the same for all diesel engines. Moreover, since the frequency of rotation of the crankshaft of diesel locomotive engines is lower, it seems possible to place several magnets on the



marker disk (the only condition is high accuracy in the placement of magnets, achievable, for example, using laser cutting machines). By itself, the magnetic principle of operation of the device is not the single one at all and can be replaced by placing an optical sensor that records the slots on the marker disk.

Currently, work is underway to modify the IMDC-2 device to be used in the research using the D49 diesel engine at the department of Electric Trains and Locomotives of Russian University of Transport.

CONCLUSIONS

The described hardware and software package for diagnosing internal combustion engines has a high potential for diagnosing diesel engines of all sizes, including diesel engines installed on locomotives and ships. After making some changes to the design, it is possible to increase its accuracy when using for diagnosing diesel locomotives engines. The main advantage of the package is its low-budget design and installation efficiency, which makes it possible to diagnose a diesel engine in the field conditions with further localisation of possible malfunctions and failures.

REFERENCES

1. Belskikh, V. I. Indicators of the technical condition of tractors and means for their identification [*Pokazateli tekhnicheskogo sostoyaniya traktorov i sredstva dlya ikh opredeleniya*]. *Tekhnika v selskom khozyaistve*, 1971, Iss. 9, p. 70.
2. Kalyavin, V. P., Davydov, N. A. Reliability and diagnostics of motor vehicles: Monograph [*Nadezhnost i diagnostika avtomotransportnykh sredstv*]. St. Petersburg, Elmor publ., 2014, 466 p.
3. Chechet, V. A., Levshin, A. G., Skorokhodov, A. N., Egorov, V. V. Main provisions of system diagnostics of vehicles [*Osnovnie polozheniya sistemnoi diagnostiki mashin*]. *Vestnik FGOU VPO «MGAU im. V. P. Goryachkina»*, 2018, Iss. 6 (88), pp. 51–55. [Electronic resource]: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-09-2018-06.pdf/download/vmgau-09-2018-06.pdf>. Last accessed 27.08.2021.
4. Egorov, V. V. Scope of on-board diagnostics of self-propelled technical vehicles [*Oblast primeneniya bortovoi diagnostiki samokhodnykh tekhnicheskikh sredstv*]. *International scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 100th anniversary of I. S. Shatilov – RSAU–MTAA*, 2017, pp. 295–297. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36668361>. Last accessed 27.08.2021.
5. Kim, S. I., Kharitonov, V. I., Dolganova, E. V., Kim, S. V. Built-in expert system for rapid test diagnosis of locomotives, that are equipped with MSU-T system (P, E). *BRNI*, 2014, Iss. 4 (13), pp. 46–50. [Electronic resource]: <http://bmi.info/download/%D0%B2%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-16-17.pdf>. Last accessed 27.08.2021.
6. Polkovnikova, N. A., Kureichik, V. M. Development of an expert system model based on fuzzy logic. *Izvestiya YuFU. Engineering sciences*, 2014, Iss. 1 (150), pp. 83–92. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21111405>. Last accessed 27.08.2021.
7. Kolunin, A. V., Shudykin, A. S., Belokopytov, S. V. Determining the status of the cylinder group of engines of military vehicles for the flow of crankcase gases. *Izvestiya TulGU. Technical sciences*, 2018, Iss. 11, pp. 583–588. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36573798>. Last accessed 27.08.2021.
8. Shevtsov, Yu. D., Dudnik, L. N., Chernukha, Yu. V., Fadeev, E. D., Nikiforov, A. M. Algorithm for diagnosing engine health by parameters of frequency characteristics of oil filter. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 2018, Iss. 4, pp. 63–70. [Electronic resource]: <https://infocom.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2018/4/63-70.pdf>. Last accessed 27.08.2021.
9. Gritsenko, A. V. Diagnostics of the gas distribution mechanism by the vibroacoustic method [*Diagnostirovanie gazoraspredelitel'nogo mekhanizma vibroakusticheskim metodom*]. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Engineering*, 2017, Iss. 3, pp. 48–57. DOI: 10.14529/engin170306.
10. Balabin, V. N., Kakotkin, V. Z., Lobanov, I. I. Results of use of the complex monitoring system and diagnostics of locomotive diesels. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2014, Iss. 9, pp. 11–16. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22025115>. Last accessed 27.08.2021.
11. Agarwal, A. K., Gupta, J. G., Sharma, N., Singh, A. P. Advanced Engine Diagnostics. Singapore, Springer, 2019, pp. 3–6. DOI: 10.1007/978-981-13-3275-3_1.
12. Ondriga, J., Zvolenský, P., Hrček, S. Application of technical diagnostics in the maintenance of the internal combustion engine of diesel multiple units 812 series. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 55, pp. 637–644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.030>.
13. Expert system of technical diagnostics based on open databases (Exsys v1.0). – Certificate of registration of the computer program 2019612928. V. A. Chechet; V. V. Egorov. (appl. date 02.2019). [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39311673>. Last accessed 27.08.2021.
14. Savenkov, N. V., Ponyakin, V. V., Chekulaev, S. A., Butenko, V. V. Modern equipment for determining tractor-speed properties of the vehicle: characteristics' analysis in laboratory conditions. *Vestnik SibADI*, 2019, Iss. 3 (67), pp. 276–289. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38538411>. Last accessed 27.08.2021.
15. Dzhahalov, U. H., Yunusov, N. I., Tursunbadalov, U. A., Ziyoev, Sh. Sh., Khasanov, Dzh. R. Parameters' Identification of Acceleration Characteristic of Internal Combustion Engine. *Vestnik PNIPU. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya*, 2020, Iss. 35, pp. 43–56. DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.03.

Information about the author:

Egorov, Vyacheslav V., Ph.D. (Eng), railway engineer, Senior Lecturer at the Department of Machine and Tractor Fleet Operation and High Technologies in Crop Production of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA), Moscow, Russia, egorov-emptp@rgau-msha.ru.

Article received 27.08.2021, approved 03.12.2021, accepted 17.12.2021.



Phase Preselector Intended to Suppress Image Frequency in the Radio Receiver



Anatoly A. VOLKOV



Maxim S. MOROZOV

Anatoly A. Volkov¹,
Maxim S. Morozov²

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² JSC Metrogiprotrans, Moscow, Russia.

✉ ² raconteurs.mm@gmail.com.

ABSTRACT

Until now, to suppress the image channel, radio receivers use a frequency preselector consisting of oscillatory circuits of the input device and a radio frequency amplifier. But the frequency preselector does not suppress strongly enough the image frequency. Therefore, two frequency conversions are often used in railway radio communication systems. For example, for station radio communications at frequencies $f = 151\text{--}156\text{ MHz}$, two frequency converters with $f_{pr1} = 24\text{ MHz}$ and $f_{pr2} = 1,596\text{ MHz}$ are used, which greatly complicates the design of the receiver.

The article proposes to use a phase preselector, which is the second parallel quadrature frequency converter, the signal of which, after passing additional elements, is summed with the signal of the first frequency converter with high suppression of the image

frequency. With this method of organising communication, the bandpass phase shifter will be a problematic block in the phase preselector, since it must have a small error $\Delta\varphi$.

A bandpass phase shifter made on RC circuits with a minimum phase shift error $\Delta\varphi = 0,1^\circ$ within a frequency band of 25 kHz is described. In case of increasing the frequency band, the phase shift error remains minimal, but it is necessary to use limiting amplifiers to equalise the amplitudes of the signals at its output.

The use of a phase preselector instead of a frequency preselector will help to reduce the intermediate frequency, which will lead to high selectivity, both in the adjacent and image channels with single-sideband modulation, and will also simplify and reduce the cost of the signal receiver.

Keywords: transport, communication, phase and frequency preselectors, image and adjacent channel selectivity, 90° bandpass phase shifter, phase inverter, RC circuits, signal multipliers, amplitude limiting amplifiers.

For citation: Volkov, A. A., Morozov, M. S. Phase Preselector Intended to Suppress Image Frequency in the Radio Receiver. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 165–170. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Radio communication plays an important role in ensuring continuity and safety of transportation by all modes of transport, including railway.

The most important problem is to ensure reliability of communication and signal transmission without significant distortion. At the same time, until now, to suppress the image channel, radio receivers use a frequency preselector consisting of oscillatory circuits of the input device and a radio frequency amplifier that does not suppress strongly enough the image frequency. Therefore, two frequency conversions are often used in railway radio communication systems.

The article suggests using a phase preselector, which is the second parallel quadrature frequency converter, the signal of which, after passing additional elements, is summed with the signal of the first frequency converter with high suppression of the image frequency.

The phase preselector suppresses the image frequency in the radio receiver more effectively than the known frequency preselector, and they are used together in the receiver [1–4]. This makes it possible to have high selectivity in the image channel and select only a single low intermediate frequency $f_{pr} = 465$ kHz, at which selectivity in the adjacent channel is also high. The principle of operation of the phase preselector is based on double single-sideband modulation (SSB AM), when each of the two sidebands of an amplitude-modulated (AM) oscillation without a carrier wave carries different information, i.e., there are two channels. In a radio receiver, these channels are separated

according to the circuit proposed by the Soviet scientist E. G. Momot whose inventions on this topic were described in his monograph «Design and Technology of Synchronous Radio Reception» [5], originally published in Leningrad in 1941. But in 1941, the Great Patriotic war began, and during the enemy air strike on the besieged Leningrad, the printing house where the entire print run of the monograph by Eugeny Momot was stocked, burned down. And only after Great Patriotic war it was accidentally possible to find an approval copy of this monograph and publish it for the second time in 1961, i.e. exactly 20 years later. This history preceding the second edition was told in the preface written by the famous scientist, corresponding member of the USSR Academy of Sciences V. I. Siforov V. I. [5].

The *objective* of the article is to substantiate the use and technical solution regarding a bandpass phase shifter made on RC circuits with a minimum phase shift error $\Delta\varphi = 0,1^\circ$ within a frequency band of 25 kHz.

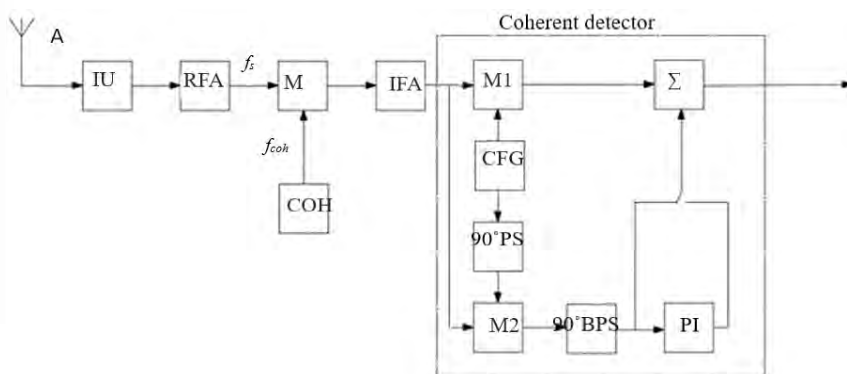
RESULTS

1. Twofold Single Sideband Amplitude Modulation with One Sideband

Since the signals of the two channels are transmitted simultaneously on two sidebands of the same amplitude modulated (AM) waveform without a carrier wave, they must be separated during coherent detection in the radio receiver.

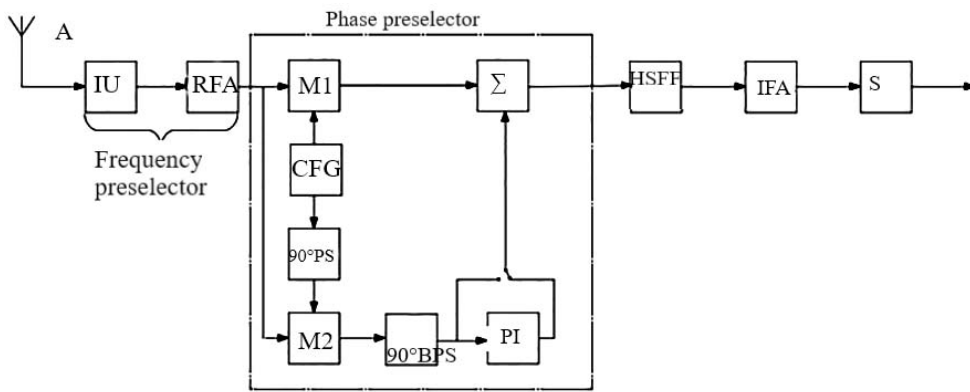
The circuit intended for such separation [5] of two channels is shown in Pic. 1. The coherent detector is outlined with a dotted line [5].

The operation of the coherent detector circuit is as follows. The input voltage from the frequency

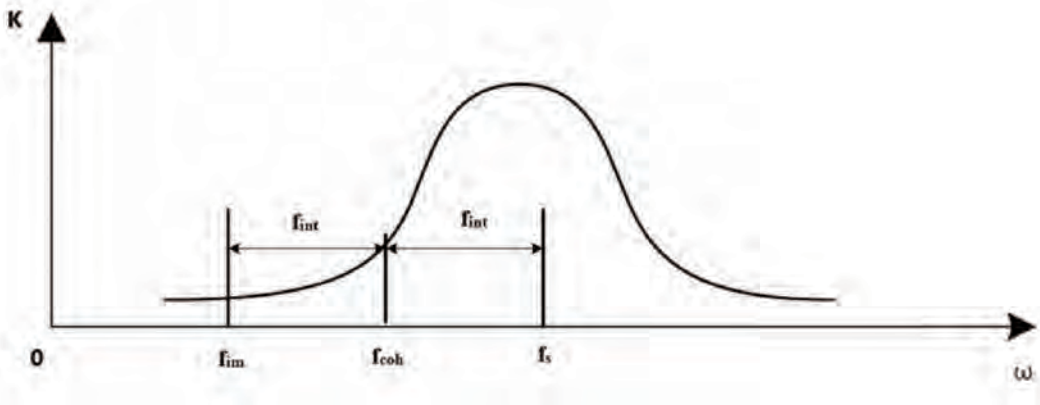


Pic. 1. Scheme of channel separation in a coherent detector [5].

The following abbreviations are used in Pic. 1 and in further Pics.: A – antenna, IU – input unit, M – multiplier, COH – coherent oscillator, RFA – radio frequency amplifier, IFA – intermediate frequency amplifier, f_s – frequency of the information signal, f_{coh} – oscillator frequency, f_{pr} – intermediate frequency, f_{im} – image frequency, CFG – carrier frequency generator, PS – phase shifter, BPS – bandpass phase shifter, PI – phase inverter, Σ – adder, HSFF – highly selective frequency filter, S – speaker, AL – amplitude limiter, FD – frequency detector, AFA – audio frequency amplifier.



Pic. 2a. Block diagram of a radio receiver with a phase preselector [compiled by the authors].



Pic. 2b. Operation of a frequency preselector [compiled by the authors].

converter after amplification in the intermediate frequency amplifier IFA is fed to the first inputs M1 and M2 of the coherent detector

$$u_w(t) = U_c \sin(\omega - \Omega_1)t + U_c \sin(\omega + \Omega_2)t.$$

The «carrier» frequency is supplied to the second input M1 from the carrier frequency generator $u_{c_{fig}}(t) = U \sin \omega t$ [6] directly, and the same voltage is supplied to the second input of the second multiplier through the phase shifter [7].

At the output of units M1 and M2, signals are obtained [8]:

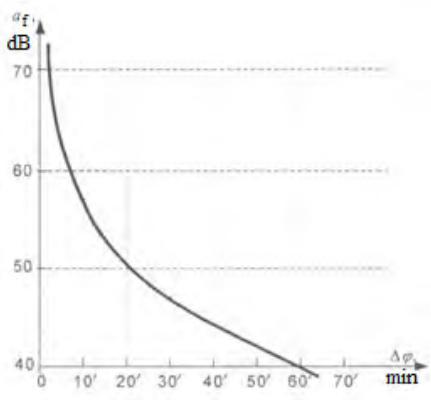
$$u_{m1}(t) = u_{fc}(t)u_{coh}(t) = 0,5U_{coh}U_c \cos(\Omega_1 t) + 0,5U_{coh}U_c \cos(\Omega_2 t) + HF;$$

$$\begin{aligned} u_{m2}(t) &= u_{fc}(t)u_{coh}(t) = 0,5U_{coh}U_c \cos(\Omega_1 t + 90^\circ) + \\ &+ 0,5U_{coh}U_c \cos(\Omega_2 t - 90^\circ) + HF = \\ &= -0,5U_{coh}U_c \sin(\Omega_1 t) + 0,5U_{coh}U_c \sin(\Omega_2 t) + HF. \end{aligned}$$

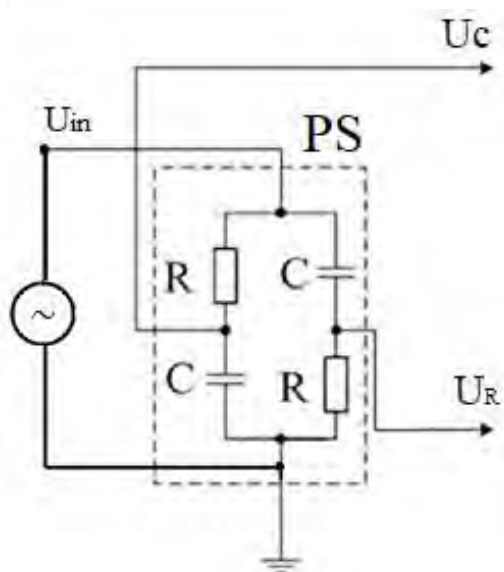
Thus, the signals of both channels are separated, which requires two adders Σ : the adder Σ_1 is fed from the input of the phase inverter PI, and to Σ_2 – from the output of PI.

2. Phase Preselector

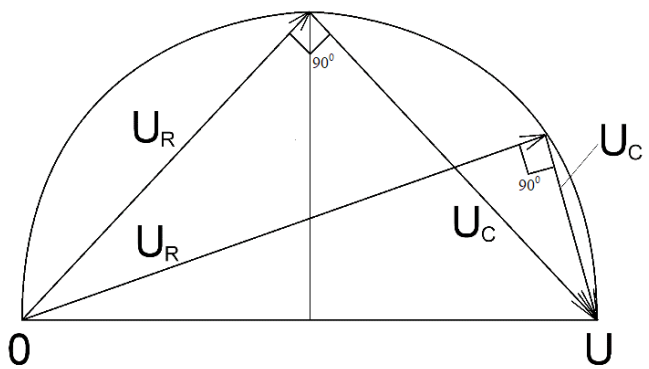
The phase preselector, like the frequency preselector, suppresses the image frequency in the radio receiver. The image frequency is separated from the local oscillator frequency in the frequency converter by an intermediate frequency f_{int} , but on the other side of the main signal frequency, as two sidebands of the AM waveform are separated from its carrier frequency. Therefore, the «image channel» during frequency conversion should occupy the same frequency band [10–18] as the main channel does. This disrupts radio communication. However, the image frequency can be suppressed according to the «quadrature SSB AM» model, since according to it the coherent detector consists of a frequency multiplier with a low-pass filter at its output [19], and the frequency converter also consists of a signal multiplier with an intermediate frequency bandpass filter. To suppress the image frequency in a standard receiver, it is necessary to connect in parallel to the main frequency converter, the second same converter and all other blocks of the «quadrature SSB AM».



Pic. 3. Calculated values of the degree of suppression of the mirror channel [compiled by the authors].



Pic. 4a. Scheme of 90° BPS on RC-circuits [compiled by the authors], where PS – bandpass phase shifter, RC – RC circuits, U_{in} – input voltage, R – resistor, C – capacitor, U_c and U_R – voltages at the outputs of the BPS.



Pic. 4b. Vector diagram of BPS [compiled by the authors].

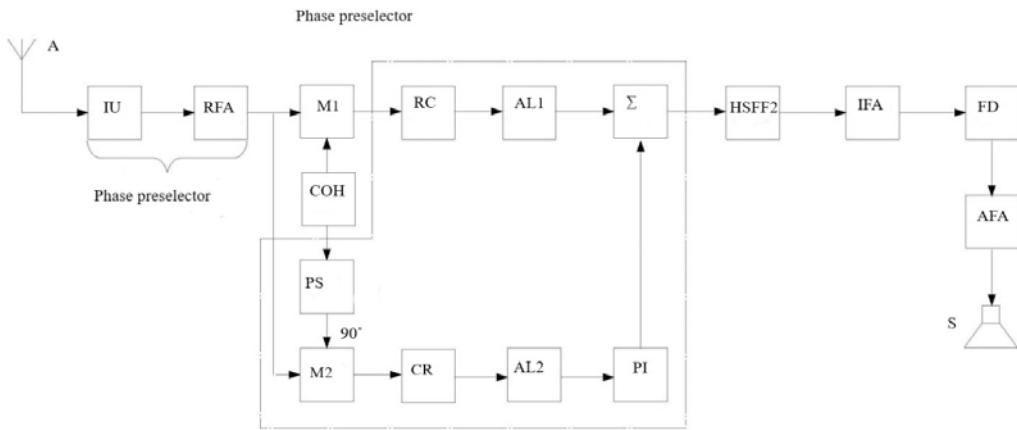
Pic. 2a shows a block diagram of a radio receiver with a phase preselector, where the signal from antenna A is fed to the frequency preselector. Pic. 2b shows graphically its operation [7]. The radio frequency amplifier's output is connected to the first inputs of the multipliers M1 and M2 of both frequency converters. The local oscillator COH is connected directly to the second input M1, and the same oscillator is also connected to the second input M2, but through a 90° phase shifter PS. The frequency of the local oscillator ω_{coh} can be greater than the frequency of the main signal ω_s , but less than the frequency of the image frequency: $\omega_{im} > \omega_{coh} > \omega_s$ or vice versa.

The output of M1 is connected directly to the first input of the adder Σ , to the second input of which the output M2 is connected through the 90° bandpass phase shifter (BPS) and a phase inverter PI, which shifts the phase of the input signal by 180°, connected in series. The output of the adder is connected to the speaker S through highly selective frequency filters (HSFF) and intermediate frequency amplifier (IFA) connected in series. It can be seen that the coherent detector of the «quadrature OSSB AM» is switched to the frequency converter of the receiver according to Pic. 2a.

High-frequency (HF) components are filtered out in the HSFF, which performs selectivity in the adjacent channel. The image frequency is suppressed as a result of phase compensation according to the formula for suppressing the single sideband modulation with one side band with suppressed carrier waveform in the coherent detector according to «quadrature SSB AM» model [20].

$$a_f = 20 \lg \left| \frac{1 + \alpha}{\sqrt{\alpha^2 - 2\alpha \cos \Delta\varphi + 1}} \right|, \text{ dB},$$

where α is the ratio of the amplitudes of conventional SSB AM, and $\Delta\varphi$ – phase error, more precisely, the phase difference of SSB AM.



Pic. 5. Structure diagram of the receiver with the upgraded BPS [compiled by the authors].

If $a = \frac{a_2}{a_1} = 1$, then α_f is transformed to the form:

$$a_f = 20 \lg \left| \frac{2}{2(1 - \cos \Delta\varphi)} \right| =$$

$$= 20 \lg \left| \frac{2}{\sqrt{2^2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right)}} \right| = 20 \lg \left| \frac{1}{\sin(0,5\Delta\varphi)} \right|, \text{ dB}.$$

Pic. 3 shows the dependence built according to the formula presented above, from which it follows that at $\Delta\varphi = 2'$ the value of $\alpha_f = 80$ dB. However, in [21, P. 48], it is said that the real 90° BPSs provide $\Delta\varphi = (2-3)^\circ$, which corresponds to $\alpha_f = 30$ dB, which is not enough.

To increase α_f , it is necessary to improve 90° BPSs.

3. Modernisation of 90° BPSs

An expedient increase in α_f is possible when 90° BPSs are made using RC circuits [9], according to Pic. 4a. Their operation is presented graphically in Pic. 4b with changing frequencies.

The experiment showed that the phase shift between U_R and U_c by 90° is preserved in the frequency band of 25 kHz with an error of $\Delta\varphi = 0,1^\circ$, since the capacitance resistance $X_c = \frac{1}{j\omega C}$,

and multiplication by the sign of j means a phase shift by 90° , according to [10, p. 46]. However, the amplitudes of U_R and U_c signals differ greatly from each other in the frequency band of more than 25 kHz, so it is necessary to use limiting amplifiers to equalise them.

The structure diagram of the receiver with RC circuits and limiting amplifiers [9] is shown in Pic. 5.

The operation of the circuit in Pic. 5 is self-explanatory as it is discussed in detail in Pic. 2 and Pic. 4.

CONCLUSION

1. It is proposed to use the principle of coherent detection of signals of two channels presented simultaneously on two sidebands of one amplitude-modulated (AM) oscillation without a carrier frequency when converting the frequency in the receiver to suppress the image frequency.

2. The simplest and most accurate phase shifter using two RC circuits connected in parallel and in reverse order [9; 11] with signal amplitude limiting amplifiers, which suppress the image frequency much more effectively than the known frequency preselector has been developed [24; 25].

3. The developed phase preselector provides not only high selectivity for the image channel, but also allows having a single low intermediate frequency, at which selectivity is also high for the adjacent channel.

4. The formula for suppressing the mirror frequency has been refined as:

$$a_f = 20 \lg \left| \frac{1}{\sin(0,5\Delta\varphi)} \right|, \text{ dB}.$$

REFERENCES

1. Kawamura, Takashi; Shimotahira, Hiroshi; Otani, Akihito. Novel Tunable Filter for Millimeter-Wave Spectrum Analyzer Over 100 GHz. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2014, Vol. 63, Iss. 5, pp. 1320–1327. ISSN 0018-9456. DOI: 10.1109/TIM.2014.2298258.
2. Kawamura, Takashi; Mattori, Shigenori. Proposal of over 100 GHz band waveguide switch. *Wiley online library*.



- Electrical Engineering in Japan, 2019. DOI: 10.1002/eej.23136. (Translated from *IEEE Transactions on Fundamentals and Materials* (Denki Gakkai Ronbunshi A), Vol. 138, No. 5, pp. 210–216. DOI: 10.1541/ieejfms.138.210).
3. Kawamura, Takashi; Mattori, Shigenori; Fuse, Masaaki. Evaluation of 140 GHz band filter bank prototype. *Asia-Pacific Microwave Conference*, 2018, pp. 13–15. DOI: 10.23919/APMC.2018.8617411.
4. Kawamura, Takashi; Shimotahira, Hiroshi; Otani, Akihito. Novel Tunable Filter for Millimeter-Wave Spectrum Analyzer Over 100 GHz. *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2013, pp. 641–646. DOI: 10.1109/I2MTC.2013.6555494.
5. Momot, E. G. Problems and techniques of synchronous radio reception [*Problemy i tekhnika sinkhronnogo radiopriema*]. Moscow, Gosizdat publ., 1961, 172 p. [Electronic resource]: http://publ.lib.ru/ARCHIVES/M/MOMOT_Evgeniy_Grigor'evich/_Momot_E.G..html. Last accessed 17.01.2022.
6. RF patent for the invention No. 2363091. Single-sideband signal shaper by phase method. A. A. Volkov, I. A. Volkova. Priority dated 29.02.2018. Published on 27.07.2019. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37553560>. Last accessed 17.01.2022.
7. Volkov, A. A., Morozov, M. S. Method for Improving Selectivity of Signals in Radio Communication. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 2, pp. 56–63. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/910>. Last accessed 17.01.2022.
8. Volkov, A. A., Kuzyukov, V. A., Morozov, M. S. Modem Options for Digital Radio Communication Systems. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 6, pp. 48–56. [Electronic resource]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1367?locale=en_US. Last accessed 17.01.2022.
9. Volkov, A. A., Morozov, M. S. Maximization of signal selectivity in a radio receiver [*Maksimizatsiya izbiratelnosti signalov v radiopriemnike*]. *Elektrosvyaz*, 2019, Iss. 11, pp. 48–50.
10. Zyuko, A. G., Korobov, Yu. F. Theory of signal transmission [*Teoriya peredachi signalov*]. Moscow, Radio i svyaz publ., 1972, 360 p.
11. Verzunov, M. V., Lobanov, I. V., Semenov, A. M. Single-sideband modulation [*Odnopolosnaya modulyatsiya*]. Moscow, State Publishing House of Literature on Communications and Radio, 1962, 300 p.
12. Volkov, A. A. Radio transmitting devices [*Radioperedayushchie ustroystva*]. Moscow, Marshrut publ., 2002, 352 p. ISBN 5-89035-079-X. [Electronic resource]: <https://ru.djvu.online/file/acizm8CNMOoDx>. Last accessed 17.01.2022.
13. Gorelov, G. V., Volkov, A. A., Shelukhin, V. I. Channel-forming devices of railway telemechanics and communication [*Kanaloobrazuyushchie ustroystva zheleznodorozhnoi telemekhaniki i svyazi*]. Moscow, GOI publ., 2007, 403 p. ISBN 978-5-89035-420-4. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/gorelov-g-v-volkov-a-a-shelukhin-s-v-kanaloobrazuyushchie-ustroystva-zheleznodorozhnoy-telemekhaniki-i-svyazi_61330895804.html. Last accessed 17.01.2022.
14. Rappaport, Th. S. Wireless Communications (Principles and Practice). New York, IEEE Press, 1996, 641 p. ISBN 0-13-042232-0.
15. Proakis, J. Digital communications. Translated from English. Ed. by D. D. Klovsky. Moscow, Radio i svyaz publ., 2000, 797 p.
16. Sklyar, B. Digital communications. Theoretical foundations and practical application [*Tsifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye*]. Moscow, Williams publ., 2007, 1099 p. ISBN 978-5-8459-0497-3. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/sklyar-b-cifrovaya-svyaz-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primeneniye_5fb0497bb4c.html. Last accessed 17.01.2022.
17. Verzunov, M. V. Single-sideband modulation in radio communications [*Odnopolosnaya modulyatsiya v radiosvyazi*]. Moscow, Voenizdat publ., 1972, 296 p. [Electronic resource]: <http://www.radiovet.ru/book/radiotv/6254-odnopolosnaya-modulyatsiya-v-radiosvyazi.html>. Last accessed 17.01.2022.
18. Fomin, A. F., Vavanov, Yu. V. Noise immunity of railway radio communication systems [*Pomekhoustoichivost sistem zheleznodorozhnoi radiosvyazi*]. Moscow, Transport publ., 1987, 295 p. [Electronic resource]: <http://biblus.ru/Default.aspx?book=4q2i27e1e6>. Last accessed 17.01.2022.
19. Volkov, A. A., Kuzyukov, V. A., Morozov, M. S. Maximizing the noise immunity of digital signal reception [*Maksimizatsiya pomekhoustoichivosti priema tsifrovyykh signalov*]. *Problems of developing promising micro- and nanoelectronic systems (MES)*, 2020, Iss. 4, pp. 146–150. DOI: 10.31114/2078-7707-2020-4-146-150.
20. Volkov, V. A., Kuzukov, V. A. Improving of clipped speech signals. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, Iss. 5, pp. 38–43. [Electronic resource]: https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/446?locale=en_US. Last accessed 17.01.2022.
21. Klyagin, L. E. Broadband phase shifters [*Shirokopolosnie fazovrashchateli*]. Moscow, Svyaz publ., 1971, 70 p.
22. RF patent for invention No. 2745852. Volkov, A. A., Morozov, M. S., Kuzyukov, V. A., Volkova, I. A. Digital signal shaper for single-sideband oscillation with 180° PSK. Priority from 23.10.2020. Publ. on 02.04.2021 in BI [Patent bulletin] No. 10. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/download/elibrary_45809298_94753701.PDF. Last accessed 17.01.2022.
23. RF patent for useful model No. 115986. Coherent signal detector with absolute phase shift keying at 180°. A. A. Volkov. Published on 10.05.2012. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38402932>. Last accessed 17.01.2022.
24. RF patent for invention No. 2259578. Phase compensation suppressor of the image channel in the receiver of radio signals. A. A. Volkov. Priority from 01.08.2014. Published on 01.08.2014. [Electronic resource]: <https://patents.google.com/patent/RU2569578C1/ru>. Last accessed 17.01.2022.
25. RF patent for useful model No. 150830. The shaper of a digital signal of a single-sideband oscillation with PSK at 180°. A. A. Volkov, M. S. Morozov. Priority from 16.05.2014. Published on 27.02.2015 in BI No. 6. [Electronic resource]: <https://patents.google.com/patent/RU125790U1/ru>. Last accessed 17.01.2022. ●

Information about the authors:

Volkov, Anatoly A., D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, aavolkov2009@rambler.ru.

Morozov, Maxim S., engineer at the Department of Automation, Telemechanics and Communication of JSC Metrogiprottrans, Moscow, Russia, raconteurs.mm@gmail.com.

Article received 17.01.2022, approved 18.02.2022, accepted 28.02.2022.



An Innovative Approach to Creation of New Types of Urban Passenger Transport



Natalia A. Troitskaya

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia.
✉ tronat@mail.ru.

Natalia A. TROITSKAYA

ABSTRACT

Currently, the population is increasingly concentrated in large cities and metropolitan areas, urban outskirts are being actively built up. According to sociologists, more than 80 % of the population will live in cities by 2025. Megacities are characterised by social tension associated with the transport and environmental situation, which is aggravated due to population growth, an increase in its density and an increase in the number of cars per capita.

The «city–transport» system has feedback features. When the city will exhaust the capacity of the created transport system regarding rapid and convenient movement of passengers, it will be necessary to change the characteristics of urban transport vehicles up to creation of fundamentally new ones based on modern energy sources.

Transport is a service industry and must meet the requirements of those who use it. For urban passenger transportation, the core thing is the quality of service.

At all times, people had a desire to move around, using a variety of animals for this depending on the region of residence. Wealthy people had special carts, carriages, and animals in their property. Ordinary people travelled on foot, but with the growth of settlements and cities, they began to experience great difficulties in moving over long distances. The idea of creating public transport, i.e., available for use by any inhabitant for a moderate fee was formulated by the

famous natural philosopher, mathematician, physicist, writer Blaise Pascal in 1661.

This idea saw serious development later due to the intensive growth of cities and due to developments of scientists in the field of exact sciences.

This review article has used research method which is the analysis of the history of emergence and development of each mode of transport in world and domestic practices, that has made it possible to trace evolution of urban transport up to the present day. The objective of this article is to present further evolution of the city's transport service, which requires an innovative approach to creation of new modes of transport.

The author's research has been reflected in the relevant articles, as well as in the chapters on «Urban transport» of several textbooks.

The article discusses an innovative approach to modernisation of existing urban vehicles and creation of new ones that will ensure environmental friendliness, accident-free operation, reduce the occupancy of the city, create comfortable conditions for transportation of passengers, etc. This provides for the widespread use of digital technologies, as well as of non-traditional transport systems.

The prospective introduction of fundamentally new vehicles is considered and analysed using the examples of the experience of cities and megacities in Russia and abroad.

Keywords: public urban transport, innovation, hybrid transport; ecology, interchangeable types of energy, occupancy of the city territory, use of underground space.

For citation: Troitskaya, N. A. An Innovative Approach to Creation of New Types of Urban Passenger Transport. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 171–183. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-1-5>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

BACKGROUND

The analysis of the history of emergence and development of each mode of transport on a global scale made it possible to divide the entire history of urban transport into several periods:

1) From the end of the 17th century to the last quarter of the 18th century, the cities were dominated by pedestrians, it was also possible to travel on horseback or in horse teams. This kind of transportation dictated the density and size of buildings to get an acceptable time and effort to move. The «passenger transportation for hire» service, which can be conditionally considered as the beginning of public transport and of the modern taxi, originated in Great Britain in 1639, when a license to transport was established. It is difficult to name the exact date of birth of the Russian private cab. Until 1898 there was a period of cabbies, each of whom had its own badge with a number. Then taximeters appeared and in 1904 a taxi society was organised [1].

2) In the last quarter of the 18th – mid-19th centuries, a horse-drawn cart appeared (speed up to 10 km) intended for small cities, experiments began with steam vehicles, a prototype car appeared which was the self-propelled cart of Nicolas-Joseph Cugnot in 1769 (France); the first two-wheeled metal bicycle was designed in 1801 by E. Artamonov.

3) In the second half of the 19th century, with a sharp increase in industrial production and the growth of cities, rails were laid for horse traction («horse car or tram»). In London, a steam-powered underground was opened in 1863, steam traction was replaced with electric traction in 1890; the first subway line in New York City opened in 1868 as a cable-hauled surface railway line on metal overpasses. Cables were replaced by steam in 1871 and by electric traction in 1890.

4) The end of the 19th – the first quarter of 20th century is characterised by development of rail electric transport: the tram (1874, Russia; 1881, Germany), the subway spread to many cities of the world (in Russia in 1935), the first monorail was built in Wuppertal (Germany) in 1901; the connection of the cities with the suburban areas with the help of rail transport has expanded. An individual car appeared. Some backlog in Russia from emergence of certain types of transport was due to unwillingness of the owners of horse-drawn tram lines (Russian public urban passenger transport) to lose its capital costs and income.

5) From the first quarter of the 20th century to the present, modes of electric transport (with

some disadvantages) and vehicles with internal combustion engines (environmentally unfriendly) prevail in all cities of the world. In this connection, there is an intensive development of various types of urban transport using various types of energy to eliminate the shortcomings that exist today regarding each type of urban transport.

The *objective* of this article is to analyse the results of research on improvement of vehicles for urban conditions. The newly adopted vehicles can improve technical performance, reduce air pollution, improve traffic safety, etc.

RESULTS

The transport of the future faces new challenges that require an innovative approach. For passenger urban transportation, it is important, first, to reduce time and comfort of the trip. Designers traditionally offer high-speed railway trains to save passengers' time, but this applies primarily to intercity traffic. Almost all advanced countries are working on technologies in this area. The speeds that are currently used in intercity passenger traffic are practically impossible to implement in a city where there are certain regulatory requirements for the location of public transport stops.

Alternative options for urban transportation of passengers, it should be noted, comprise, first, fundamentally new types of urban transport, approved and being now introduced, as well as already known types that have switched to renewable energy sources.

Singapore with 5,8 million people is deemed to be the smartest city in the world today thanks to the use of existing innovations in transport. In a relatively short period of time, it was possible there to introduce all modern achievements related to transport, eliminating traffic jams on the streets, thanks particularly to special equipment for tracking and distributing flows, supplying the population with mobile devices, the use of unmanned buses and other technical means.

In Singapore, an unmanned hybrid electric bus for 80 passengers with a length of 12 m was successfully tested in 2019. Its range is 25 km, the electrical plant is fully charged in six minutes while parking or at bus stops. The bus is equipped with GPS system and with sensors that allow receiving and processing information about remote objects, and with special cameras that broadcast a three-dimensional image of the surroundings, considering local traffic and



Pic. 1. Model X is a full-size, all-wheel drive electric car. [Electronic resource]: https://tesla-online.ru/model_x. Last accessed 12.01.2022.

climate. An unmanned taxi was launched within the territory of the Singapore business centre, subsequently the system was extended to the entire city¹.

In California (USA), a smart city infrastructure is being developed with smart roads, free Wi-Fi, LED streetlights, air pollution sensors and solar panels, and driverless buses will also be used here. The first «green» railway will appear, i.e., a railroad that reduces the environmental impact by using energy from renewable sources. California will switch to «green» buses by 2040².

Significant number of the world cities set development of infrastructure for cycling as of ecologically friendly urban transport as priority. There are several rankings that assess namely the comfort of city infrastructure for cyclists. For example, a 2019 ranking comprised as top 10 cities Copenhagen, Amsterdam, Utrecht, Antwerp, Strasbourg, Bordeaux, Oslo, Paris, Vienna, Helsinki, Bremen, Bogotá, Barcelona, Ljubljana, Berlin, Tokyo, Taipei, Montréal, Vancouver, Hamburg³.

It should be noted that a bicycle as a form of urban transport is very common in Asian countries (China, Vietnam, etc.) and in many European countries (Holland, Germany, etc.).

Moscow can serve as an example at the present time, on the streets of which bicycle paths have been created (with no access for pedestrians) and special parking lots for bicycle rental are provided.

In recent years, an increasing number of cities in the world (Dubai, New York, Paris, etc.) have begun to offer a system for exchanging mechanical bicycles for electric ones.

The development and phased introduction of electric vehicles in cities is underway. In 2012, the Model X prototype was presented in Los Angeles – a full-size, all-wheel drive luxury SUV-electric car with automatically folding Falcon Wing rear doors («falcon wing»), providing access to the second and third row of seats (Pic. 1)⁴.

There are now electric cars capable of traveling 975,6 km on a single charge⁵.

This was made possible by changing the usual shape of the car to an aerodynamic one, using powerful batteries and solar panels for additional recharging.

There are already electric bikes that can travel 350–400 km on a single charge⁶.

The Segway electric scooter, appeared in 2002, is a personal mobility vehicle (PMV) with

¹ The future of sustainable mobility in Singapore. [Electronic resource]: <https://www.webuildvalue.com/en/megatrends/singapore-smart-city.html>. Доступ 12.01.2022.

² California will switch to «green» buses by 2040 [California pereydyot na «zelyonye avtobusy k 2040 godu»] (in Russian). [Electronic resource]: <https://nplus1.ru/news/2018/12/17/zero-emission-california>. Last accessed 12.01.2022.

³ The 2019 Copenhagenize Index of bicycle-friendly cities [Electronic resource]: <https://copenhagenizeindex.eu/about/the-index>. Last accessed 12.01.2022.

⁴ New Tesla Model X – the world's fastest electric crossover (in Russian). [Electronic resource]: https://tesla-online.ru/model_x. Last accessed 12.01.2022.

⁵ 1000 km on a single charge? Tesla is already preparing such electric vehicles (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.ixbt.com/news/2020/11/25/1000-km-na-odnoj-zarjadke-tesla-uzhe-gotovit-takie-elektromobili.html>. Last accessed 12.01.2022.

⁶ How long can an e-bike travel on a single charge? (in Russian) [Electronic resource]: <https://eveloprosto.com/how-long-can-e-bike-go-on-one-...> Last accessed 12.01.2022.





Pic. 2. Electric scooter Segway (<https://www.segway.com>).

an unusual balancing system to keep a person in balance (Pic. 2)⁷. PMV – means for movement of a person through the use of an electric motor or muscle energy (roller skates, scooters, monowheels, etc., except for bicycles and wheelchairs).

The emergence of electric vehicles marked a new problem associated with construction of charging stations.

The geography of Supercharger electric charging stations in the USA allows the owners of such cars to cross the entire territory of the USA in any direction⁸.

In EU, about 287,000 public charging stations had been built by the end of 2020⁹, the battery charging time for them is about six minutes. According to some estimates, their number could attain more than 350,000 in 2021, and the need for them by 2050 could be estimated as more than 3 mln.

In Russia, there is an intensive testing of electric city buses. It has been established that replacing one diesel bus with an electric bus reduces CO₂ emissions by 60,5 tons per year. In Moscow, more than 700 environmentally

friendly electric buses were operated daily in August 2021¹⁰.

According to the agreement with the plant, KamAZ will not only produce part of those new vehicles but will also ensure their full maintenance for 15 years¹¹.

The problem of road accidents is relevant all over the world: according to WHO, one person dies in road accidents in the world every 24 seconds, and there are 1,25 million victims per year [2]. This problem has led to the need to create urban unmanned vehicles, i.e., driverless, with fully automatic control. Russia joined the UN global campaign «Streets for Life» to draw attention to the vulnerable road users [2].

The city of Innopolis in the Republic of Tatarstan has been conducting since 2018 an experiment to introduce an unmanned taxi car. Such a car evaluates the traffic situation in a 360-degree zone and within a distance of 100–200 m using a set of sensors (six radars and cameras) 50 times per second¹².

In 2019, the Yandex company launched an unmanned taxi service on the territory of the Skolkovo innovation centre near Moscow¹³.

There are many examples of testing and introduction of driverless subway trains in many countries. For example, testing of the first fully automated subway line «Yanshan–Fangshan» has begun in Beijing. The new Beijing trains do not have driver's cabs, and the operation and maintenance of the line is handled by a «smart» system¹⁴.

The project of the Canadian division of Bell Helicopter received official support from the public authorities to develop unmanned versions of helicopters and urban air taxis. US cities are

¹⁰ Sergey Sobyanyin spoke about development of electric transport in Moscow (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.mos.ru/mayor/themes/2299/7574050/>. Last accessed 12.01.2022.

¹¹ Soon every fifth Moscow bus will be that form KAMAZ conveyors (in Russian). [Electronic resource]: <https://realnoevremya.ru/articles/163962-kamaz-peredast-mosgortransu-elektrobusy-na-40-milliardov>. Last accessed 12.01.2022.

¹² Unmanned taxis will appear in Moscow, Sochi and Tatarstan (in Russian). [Electronic resource]: <https://rg.ru/2021...reg...taksi-poiaviatsia-v...tatarstane.html>. Last accessed 12.01.2022.

¹³ Drone on the roads of Skolkovo (in Russian). [Electronic resource]: <https://taxi.yandex.ru/blog/bespilotnik-v-skolkovo/>. Last accessed 12.01.2022.

¹⁴ Beijing launched a fully automated subway line without a driver. It is reported by «The Rambler» (in Russian). [Electronic resource]: https://news.rambler.ru/moscow_city/43385177/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink. Last accessed 12.01.2022.

⁷ Segway store Website. [Electronic resource]: <https://store.segway.com/about-us>. Last accessed 12.01.2022.

⁸ The network of charging stations Tesla Supercharger. [Electronic resource]: <https://www.tesla.com/supercharger>. Last accessed 12.01.2022.

⁹ Werwitzke, C. EAFO study: charging infrastructure in the EU. [Electronic resource]: <https://www.electrive.com/2021/03/05/eafo-study-charging-infrastructure-in-the-eu/>. Last accessed 12.01.2022.



Pic. 3. Unmanned vehicle designed by MADI (Moscow Automobile and Road Construction State Technical University) (a), and an Estonian unmanned shuttle bus operating in designated areas of the cities (b) [5].

becoming «proving grounds» for introduction of unmanned flying taxis¹⁵. Similar projects are being developed in several European countries (Pic. 3).

In Russia, it is necessary, first, to make laws to consolidate the use of unmanned vehicles with a high degree of automation for driving on public roads based on the passport of the national project «Safe high-quality roads». It is assumed that movement of unmanned vehicles will be provided on 55 sections of the country's roads by the end of 2024.

In the city of the future within the Neom «THE LINE» project in Saudi Arabia, a highway for unmanned vehicles is to be designed. The city should be built by 2025 [3].

Experimental operation of hydrogen-fuelled vehicles has expanded. In the UK in 2005, a silent motorbike was revealed which runs on a hydrogen-powered fuel cell and was called Emission Neutral Vehicle¹⁶.

An unmanned city bus powered by hydrogen fuel is operating in the city of Tartu (Estonia) [5].

In Russia, the KamAZ automobile plant is developing buses, and the GAZ plant is developing hydrogen-fuelled trucks. The domestic electric car 5G «Kama-1» running on a hydrogen-powered fuel was the winner of the «Technological breakthrough» award in 2020¹⁷.

To implement the idea of overtaking cars moving at different speeds on the road, to be able to bypass traffic jams, China is developing an Airbus, bus moving over cars (Pic. 4). It will move around the city at speeds up to 60 km/h, carry up to 1400 people, which can replace 40 conventional buses, save 800 tons of fuel, and reduce carbon dioxide emissions by 2480 tons per year¹⁸.

Videos and photos of this unusual bus have been published by the world's leading media. A single unit was built, which passed testing successfully, but there is no information on its further development.

¹⁵ Air taxi station to be built in the US (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.gazeta.ru/tech/2020/11/12/13358161/aerotaxi.shtml>. Last accessed 12.01.2022.

¹⁶ Single track car BAC Mono will get a hydrogen version. The experimental car is not inferior in emotions to the usual Mono with a gasoline internal combustion engine (in Russian). [Electronic resource]: <https://motor.ru/news/odnomestnyi-trek-kar-bac-mono...na...270...>; Fuel cell motorbike unveiled, but too quiet? [Electronic resource]: <https://www.nbcnews.com/id/wbna7206396>. Last accessed 12.01.2022.

¹⁷ The first hydrogen electric bus from KamAZ (in Russian). [Electronic resource]: https://kamaz.ru/press/releases/pervyy_vodorobus...kamaza/ (<https://motor.ru/news/kamaz-hydrogen-bus-07-09-2021.htm>). Last accessed 12.01.2022.

¹⁸ China launched a bus tunnel that travels along the road above cars and is not afraid of traffic jams (in Russian). [Electronic resource]: <https://novate.ru/blogs/290716/37401/>. Last accessed 24.01.2022.





Pic. 4. A bus moving in the general flow over passenger cars (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/gallery/3054311#id1307215>. Last accessed 12.01.2022.

Japanese designers to solve a similar problem in the design of the car propose to provide for a variable height of front and rear axles, able to rise the vehicle above the car in front.

A further increase in the number of roads in cities and of multi-level intersections on them leads to a decrease in the area of land used for other needs of the city. This problem has urgently required the emergence of new types of transport technologies that need but limited support on the ground or tunnels.

The first underground, as mentioned earlier, was launched in London (England) in 1863. Then the subway became the main mode of transport in metropolitan areas. Today, it constitutes the basis for development of urban transport systems such as Moscow Central Circle (MCC) which are being built for communication, primarily, with metro stations, airports and train stations, i.e., create a single urban transport system.

Transport systems with a support built into the ground are off-street monorail transport. The first urban monorail was built in 1901 in Germany (Wuppertal). It has been still in operation with a high degree of traffic safety: only one accident has been registered during the entire period of operation. Maximum speed is 60 km/h, distance between stations is of 780 m (Pics. 5a and 5b).

In Newark, near New York, USA, a 4,8 km long monorail links the airport, bus and train stations, and parking lots.

In Moscow in 2004, a 4,7 km long monorail transport system with six stations was built as

a flyover. However, the choice of a district as a host site for this system showed its economic inefficiency due to insufficient passenger traffic, which led to a partial replacement with tram traffic¹⁹.

Until 1950, the monorail had not been widely used, but in recent years it has become widely used in Asian countries due to the lack of extra territory in old densely built-up cities. So, in Chóngqìng (China), a 13,5 km long monorail has been operating since 2005, the line of which passes through a residential building (Pic. 6)²⁰.

In Japan, the total length of monorails in eight cities is of 102 km. Osaka has the longest road of 23,8 km. In 2003, an 8,6 km long monorail was opened in Kuala Lumpur (Malaysia). The length of monorail in Jakarta (Indonesia) is 27 km.

The main disadvantage of the monorail is its noise. In 1979, at the international exhibition in Hamburg (Germany), a monorail was demonstrated, operating on the principle of electromagnetic suspension with a linear electric drive²¹, which worked almost silently.

¹⁹ Tram lines will partially replace Moscow monorail (in Russian). [Electronic resource]: <https://stroimsk.ru/news/tramvaynye-puti-chastichno-zamieniat-moskovskii-monorel-s?from=cl>. Last accessed 21.01.2022.

²⁰ In the Chinese metropolis, the railway was laid right through a residential building (in Russian). [Electronic resource]: <https://novate.ru/blogs/210317/40563/>. Last accessed 21.01.2022.

²¹ Transrapid design history. [Electronic resource]: <https://www.maglev.net/transrapid-design-history>. Last accessed 21.01.2022.

a)



b)



Pics. 5a, 5b. Monorail in Wuppertal (Germany). [Electronic resource]: <https://schwebebahn.de/en/mediathek>. Last accessed 12.01.2022.



Pic.6. Monorail in Chóngqing (China). [Electronic resource]: <https://novate.ru/blogs/210317/40563/>. Last accessed 12.01.2022.





Pic. 7. System Transrapid: Pudong airport – Longyang metro station in Shanghai (China). [Electronic resource]: https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/21786 with reference to photo source: media.thyssenkrupp.com. Last accessed 12.01.2022.

In Transrapid's ultra-high-speed maglev system, vehicles hover over a frictionless rail guide using an attractive magnetic force. For 14 hours of operation, the system transported 7500 people, the railway, with a maximum train capacity, could transport 440 persons²².

Transrapid primarily competed with InterCityExpress (ICE), i.e., high speed rail system. The problem was that in Germany and some other European countries by that time there was a developed unified network of high-speed railways.

The Transrapid system is used today in China. Currently, the fastest electromagnetic road in the world is the route between Pudong Airport and Longyang Metro Station in Shanghai (PRC). The length of the line is about 30 kilometers, which the train passes in 7,5 minutes at a speed of about 430 km/h (Pic. 7)²³.

Studies have found that a magnetic suspension system allows reaching the speed of urban public transport that is 2,5–4 times higher than the speed of a tram or trolleybus and 2–2,5 times than that of the subway. At the same time, the volume of energy consumed per kilometre is 20–25 % lower as compared to ground electric transport, and three times less as compared to metro.

Companies from several countries are engaged in development of such systems, in particular the Swiss company SwissRapide AG, and others.

It is worth reminding previous, though sometimes unsuccessful, experience of

developing monorail systems using air cushion technology. French engineers implemented it within the framework of AéroTrain project. As a rail, they decided to use a reinforced concrete beam of inversed T-shape, mounted on supports. Air was injected under the bottom of the car, which rests on the beam, creating thus a kind of «air lubrication» that ensures easy movement of the car. The car of different models were equipped with different propulsion and traction systems (gas turbines, aircraft turbojet systems, linear electric motors). The train once attained the maximum speed of 430,4 km/h²⁴ [7].

HSST technology based on linear motor has been developed in Japan since 1972, since 2005 the only magnetic levitation commercial transit system has been connecting Fujigaoka station of subway line and Yakusa station of Aichi Loop Line, the length of the line is 8,9 km²⁵.

The construction and expansion of metro and high-speed urban rail systems require significant material costs, so there is now renewed interest in proposals for new environmentally friendly transport systems.

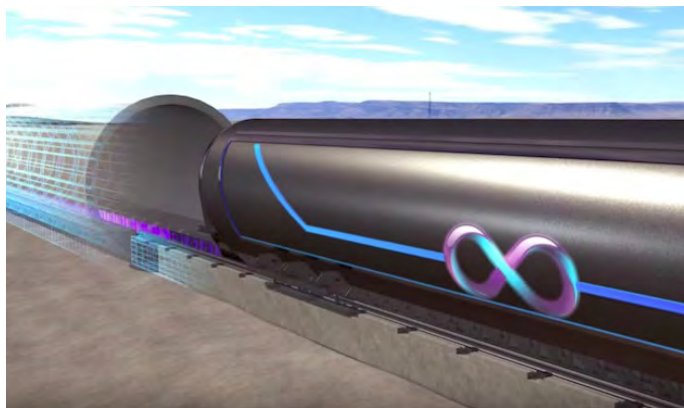
New modes of transport comprise Hyperloop trains, developed in the US by Elon Musk (Pic. 8). The idea of a train moving in a tube with near-vacuum environment is not new and arose

²² «Transrapid 05», the first «flying» above the rails (in Russian). [Electronic resource]: <https://zen.yandex.ru/media/incrediblmech/transrapid-05-pervyi-letiasci-nad-relsami-5c1272477e9de200aac7a62a>. Last accessed 21.01.2022.

²³ Transrapid Maglev Shanghai. [Electronic resource]: <https://www.maglevboard.net/en/facts/26-transrapid-maglev-shanghai>. Last accessed 21.01.2022.

²⁴ E.g.: Transport that never was. [Electronic resource]: <https://fabricofparis.com/2020/02/18/transport-that-never-was-aerotrain.html>; Vereycken, K. Aérotrain, high speed rail and nuclear technology: the lessons of Jean Bertin. [Electronic resource]: https://solidariteetprogres.fr/IMG/pdf/karelverecken.fr-aerotrain_high_speed_rail_and_nuclear_technology_the_lessons_of_jean_bertin.pdf. Last accessed 21.01.2022.

²⁵ Websites of Chubu HSST Development Corporation and Linimo. [Electronic resources]: http://hsst.jp/linimo_e.htm; <https://www.linimo.jp/language/en/>. Last accessed 21.01.2022.



a) tube and passenger capsule (section). [Electronic resource]: <https://hi-news.ru/technology/kak-rabotaet-hyperloop.html>. Last accessed 12.01.2022.



b) transparent tube for the city. [Electronic resource]: <https://telecomdaily.ru/news/2019/08/19/vse-chno-nuzhno-znat-o-hyperloop>. Last accessed 12.01.2022.

Pic. 8. Passenger capsule in the tube.

at the beginning of 20th century. These are technologies for lifting a capsule using a magnetic field, i. e., magnetic levitation or magnetic suspension (maglev).

In 2013, the Hyperloop system was introduced in the USA as the transport of the future. Driverless capsules (a prototype of a wagon) are placed in a transport tunnel with air pumped out of there to be accelerated to the highest possible speed. The new vehicle, as declared, particularly by mass media, will be twice as fast and ten times safer as an airplane, and more resource saving in operation than analogic modes of transport²⁶.

²⁶ See, e. g.: Hyperloop Alpha [Electronic resource]: https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf; Hyperloop versus airplanes: What's safer? [Electronic resource]: <https://www.cnn.com/2017/05/02/hyperloop-versus-airplanes-whats-safer.html>; Hyperloop: Faster than a plane, cheaper than a train and completely green! [Electronic resource]: <https://www.indiatoday.in/world/story/hyperloop-elon-musk-tesla-motors-pay-pal-founder-new-transport-system-173603-2013-08-11>. Last accessed 21.01.2022.

The hyperloop transport network project is based on the same principle as pneumatic mail. Through pipes made of a special material that can withstand low pressure and minimise turbulence with increasing speed, the capsule with passengers is «pushed» into the tube with great acceleration, where it continues to move due to air flows and special magnets that guide the capsule.

The inventors of the system proposed not to strive for a high vacuum in the pipe, but to limit themselves to the so-called fore vacuum, which can be created using relatively inexpensive pumps, and the air remaining in the tube can be used to create an air cushion under the moving capsule.

The capsule is driven by a linear electric motor, the stator is a 15 m long rail on the bottom of the tube. The rotor is in each capsule. Since the stator performs not only acceleration, but also braking, in the latter case, the kinetic energy is converted into electrical energy, which gives an overall energy saving.





Pic. 9. The first passengers of Hyperloop Virgin were CTO Josh Giegel and head of passenger services Sarah Lucian. [Electronic resource]: <https://www.virgin.com/about-virgin/latest/passengers-travel-safely-on-a-hyperloop-for-the-first-time>. Last accessed 12.01.2022.

In 2020, Virgin Hyperloop tested its train with passengers for the first time at the DevLoop site near Las Vegas at speeds up to 160 km/h. The 500-meter distance was covered in 15 seconds (Pic. 9). The maximum speed that, according to the calculations of the developers, the hyperloop will develop in the future is 1223 km/h.

This type of transport is offered to several countries. Tel Aviv–Eilat route (distance 350 km) is considered among other possible routes. The project can be implemented by 2025. According to some calculations, the construction of this route will be three times cheaper than the construction of a conventional high-speed railway. Several intermediate stations are planned for the Hyperloop One line. Travel time will be reduced from 4–6 hours to 20 minutes²⁷.

Another fundamentally new system of public passenger transport on magnetic levitation is being developed, namely skyTran, intended among other objectives, to combat urban traffic jams. The system runs on electricity, is environmentally friendly, cheap, silent, fast, and comfortable. In the future, it is possible to use solar energy. The new system has been developed by the skyTran Inc., a NASA Space Act Company (Pic. 10)²⁸.

This system is the implementation of the concept within the more general approach to Personal Rapid Transit, first proposed by

aerospace engineer Douglas Malewicki in 1990. SkyTran capsules travel at a height of six meters above ground and can accelerate to 240 km/h.

According to the company's statement, the company signed a contract with Israel Aerospace Industries to build a test track with an elevated loop 400–500 meters long. A commercial skyTran network will be built in a number of cities in Israel, as well as an elevated rail system to serve Ramon Airport²⁹.

The Dubai government has unveiled a futuristic SkyPod transportation system that will reduce energy costs and require less infrastructure. In 2019, skyTran and the Dubai's Roads and Transport Authority (UAE) began developing the SkyPod transit system³⁰.

The Memorandum of Understanding was also signed with Mirel (UAE) to study and implement a personal rapid transit system project on Yas Island³¹.

More generally, the desire to have a personal comfortable space during trips leads to the search for new public transport options that provide services to a specific person. The search continues around the world for better Personal Rapid

²⁷ From Tel Aviv to Eilat in 20 minutes soon it will become a reality (in Russian). [Electronic resource]: <https://isralove.org/load/16-1-0-1525>. Last accessed 21.01.2022.

²⁸ NASA and skyTran websites. [Electronic resource]: <https://www.nasa.gov/centers/ames/researchpark/partners/industry/skytran/>; <https://skytran.com/>. Last accessed 21.01.2022.

²⁹ In Israel individual maglev-transport SkyTran will be launched (in Russian). [Electronic resource]: <http://gsmavto.com/v-izraile-zapustyat-individualnyj-maglev-transport-skytran/>. Last accessed 21.01.2022.

³⁰ Dubai's RTA and SkyTran sign MoU to introduce driverless sky pods. [Electronic resource]: <https://www.roadtraffic-technology.com/news/sky-pods-dubais-rta-skytran/>. Last accessed 21.01.2022.

³¹ Yas Island to use skyTran transportation technology. [Electronic resource]: <https://businesschief.eu/technology/yas-island-use-skytran-transportation-technology>. Last accessed 21.01.2022.



Pic. 10. SkyTran system.

Transit (PRT) systems, which is a form of public transport that uses small, automated vehicles that operate on a network of purpose-built tracks. PRT is a type of automated travel along guides. PRT vehicles are designed for individual trips or trips in small groups of no more than three to six passengers. The guides are located within a networked urban topography, with all stations located on sidings and routes have frequent merging/divergence points. This allows you to make non-stop trips from point to point, bypassing intermediate stations. The point-to-point service is compared to a taxi.

Many PRT systems have been proposed, but most have not yet been implemented. Examples of successful PRT projects include currently operating systems in West Virginia University in Morgantown (USA, since 1975), in Masdar Institute of Khalifa University in Masdar City (Abu Dhabi, UAE, since 2010), a ten-vehicle system has been operating in Masdar City, UAE; at London Heathrow Airport (Ultra Global PRT, since 2011)³².

The design of a high-speed string transport system on supports for urban passenger, freight and intercity transport was proposed in Belarus, promoted by A. E. Yunitskiy [8–10]. This is SkyWay string transport system.

In the SkyWay system, driverless mounted or suspended high-speed electric vehicles-modules of various passenger capacity with steel wheels with a diameter of 50–70 cm should move along a continuous pre-tensioned string-rail overpass (Pic. 11).

³² West Virginia University PRT. [Electronic resource]: <https://prt.wvu.edu/home>; Masdar. Mubadala Investment Company website. Mobility. [Electronic resource]: <https://masdar.ae/Masdar-City/the-city/Mobility>; Ultra Global PRT website. [Electronic resource]: <https://www.ultraglobalprt.com/wheres-it-used/heathrow-t5/>. Last accessed 21.01.2022.

The system is planned to consist of supports and two current-carrying string-rails, separated from each other, along which the cars move. Anchor supports are designed to be installed at intervals of 500–2000 m, and intermediate ones – at intervals of 20 to 100 m. Supports are installed on any terrain, and their height is determined by the terrain and the height of the objects over which the loop route passes.

Jointless rail-string, according to the intention of the authors, is a rigid thread formed by a hollow rail with steel ropes stretched with a force of 2500 kN inside. The sagging of the rail thread in spans up to 100 m long is no more than 10 cm. The speed of movement is up to 300 km/h and higher with automatic traffic control. Passenger stations for embarking and disembarking of passengers are arranged along the ring [9–10].

Moving of transport arteries underground is currently associated with the problem of urban land being occupied by engineering structures and an increased level of motorisation. Transport systems can occupy up to 30 % of the territory in cities, and up to 70 % in their central parts.

Transferring traffic to tunnels gives good results. The Big Dig project in Boston (USA) is a milestone. It is a network of engineering structures, including long motor transport tunnels [5; 11]. The project consisted mainly of replacing the elevated highway with a tunnel. After the construction was completed, the elevated highway was demolished, and more than 45 parks and city squares were created in its place. Due to this project, the environmental situation was improved: the citywide level of carbon monoxide emissions decreased by 12 %.





Pic. 11. Passenger car of A. E. Yunitskiy's system SkyWay [Unicar vehicle U4-431. Operation manual. Minsk, Strunnye technology LLC., 2018, P. 220].

This idea is currently also of interest to Elon Musk, who is promoting innovative types of urban transport to be located in underground multi-tiered tunnels in the future.

E. Musk's urban transportation project develops high-speed technologies for moving cars underground at a speed of about 200 km/h. Cars are installed on special platforms and lowered underground with electrical equipment. A network of such tunnels, according to the authors of the project, can save the city from traffic jams.

The project of a linear city («the Line») where residents will not use cars on the surface, and in which «all the infrastructure will be hidden underground, where they will make a transport level for high-speed transport controlled by artificial intelligence (AI)», is being developed in Saudi Arabia^{33, 34, 35}.

Construction of a high-speed underground road from O'Hare International Airport (79,81 million passengers per year) to Chicago (USA) with a length of 27 km was discussed [Chicago

Express Loop]. Unmanned single wagons for 16 people were suggested to be used at a speed of 160 km/h and departing every half minute. Travel time on the route might be 12 minutes³⁶.

ABB Daimler Benz Transportation, at the initiative of Moscow city government, developed a project for construction of a high-speed passenger transport system Transrapid to connect terminals of Sheremetyevo international airport and the Moscow City Business Centre³⁷.

Original ideas are presupposed by another project: the Dahir Insaat gyrotrain [gyroscope-stabilised trains], moving over urban traffic with the help of a gyroscope³⁸.

Dahir Insaat's gyrocars could be equipped with gyroscopes that maintain balance due to a flywheel and slide along the rail, being above ordinary cars and pedestrians at a height of several metres. Such a rail should be placed on the dividing strip between the rows of cars. The height of the rail from the level of the road is only two centimetres, and it does not interfere

³³ Saudi Arabia will have a linear city without cars (in Russian). [Electronic resource]: <https://rg.ru/2021/01/14/v-saudovskoj-aravii-poiavitsia-linejnyj-gorod-bez-mashin.html>. Last accessed 03.02.2022.

³⁴ Saudi Arabia bets on the city of the future (in Russian). [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/doc/4652223>. Last accessed 03.02.2022.

³⁵ In Saudi Arabia, a million-plus city without cars will be built. Up to \$ 200 billion will be spent on construction of the «city of the future» (in Russian). [Electronic resource]: <https://motor.ru/news/saudiarabia-theline-11-01-2021.html>. Last accessed 03.02.2022.

³⁶ High-speed underground railway will be built to Chicago airport (in Russian). [Electronic resource]: <https://tourism.interfax.ru/news/articles/49931>. Last accessed 21.01.2022.

³⁷ Decree of June 2, 1998 N 439-PP On the concept of building a high-speed transport system between the Moscow International Business Center «Moscow City» and the airport complex «Sheremetyevo». [Electronic resource]: <https://mos.ru/authority/documents/doc/27166220/>. Last accessed 21.01.2022.

³⁸ A gyroscope (from other Greek γῦρος «circle» + σκοπέω «I look») – a device capable of responding to changes in the orientation angles of the body on which it is installed relative to the inertial of frame reference. The term was first introduced by J. Foucault in 1852.

with vehicular traffic. As a result, busy megacities can get a large vehicle capable of moving over city roads using only the median strip between the lane³⁹.

There has been a completely new approach to creating vehicles for transportation of passengers focused on hybrid vehicles. Currently, there are attempts in many countries to create an «ideal hybrid», in which the advantages of each mode of transport should replace its shortcomings.

Overall, many of the general futuristic trends refer to transport in one way or another⁴⁰.

CONCLUSION

Based on the study and analytical review of domestic and world experience in the field of improving existing and creating innovative vehicles for transporting passengers in the city, it is possible to identify the main trends in the area under consideration.

They include, first, the transition to renewable energy sources that improve the environment; development of high-speed systems to reduce travel time for passengers; construction of tunnels that reduce the occupancy of city areas; introduction of drones that reduce the number of accidents; widespread popularity of bicycles as an opportunity to reduce physical inactivity of urban residents, and a number of other trends.

Further development of the transport infrastructure, especially in large cities and megacities around the world, should consider the available scientific and research developments and the cumulated experience of their application to solve urban problems and best practices.

REFERENCES

1. Troitskaya, N. A., Kruglova, A. A., Moroz, D. G. The beginnings of development of public transport, or the history of development of taxi transportation [*Nachalo razvitiya*

³⁹ Transport of the future: a Russian figured out how to rid the world of traffic jams (in Russian). [Electronic resource]: https://news.rambler.ru/other/38274456/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink. Last accessed 21.01.2022.

⁴⁰ RBC Trends. Futurology (in Russian). [Electronic resource]: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/5f6859dc9a794726131>. Last accessed 03.02.2022.

transporta obshchego polzovaniya, ili Istoriya razvitiya taksomotornykh perevozok]. *Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaistvo*, 2018, Iss. 12, pp. 20–30. [Electronic resource]: <https://panor.ru/articles/nachalo-razvitiya-transporta-obshchego-polzovaniya-ili-istoriya-razvitiya-taksomotornykh-perevozok/18054.html>. Last accessed 03.02.2022.

2. Proceedings of the 6th global week of road safety under the auspices of the UN. *Automobile roads*, 2021, Iss. 6, pp. 62–63.

3. Troitskaya, N. A. Innovative approach to transport availability in the cities of the future [*Innovatsionny podkhod k transportnomu obespecheniyu gorodov budushchego*]. *Bulletin of MADI*, 2021, Iss. 4, pp. 91–98. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47520995>. Last accessed 03.02.2022.

4. Vuchik, V. R. Transportation for Livable Cities [*Russian edition's title: Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni*]. Moscow, Territoriya budushchego publ., 2011, 413 p. ISBN 978-5-91129-058-0. [Electronic resource]: <http://amac.md/Biblioteka/data/29/07/14.2.pdf>. Last accessed 03.02.2022.

5. Troitskaya, N. A. New problems – new solutions [*Novie problemy – novye resheniya*]. *Avtomobilnyi transport*, 2021, Iss. 6, pp. 46–52.

6. Troitskaya, N. A. Evolution of vehicles of road transport [*Evolutsiya podvizhnogo sostava avtomobilnogo transporta*]. *Avtotransport. Eksploatatsiya, obsluzhivanie i remont*, 2020, Iss. 11, pp. 51–60. [Electronic resource]: <https://panor.ru/articles/evolyutsiya-podvizhnogo-sostava-avtomobilnogo-transporta/51279.html>. Last accessed 03.02.2022; Iss. 12. – pp. 67–79. [Electronic resource]: <https://panor.ru/articles/evolyutsiya-podvizhnogo-sostava-avtomobilnogo-transporta/53085.html>. Last accessed 03.02.2022.

7. Ferreira, H. P., Stephan, R. M. Air Cushion Vehicle (ACV): History Development and Maglev Comparison. *Transportation Systems and Technology*, 2019, Vol. 5, Iss. 1, pp. 5–25. DOI: doi: 10.17816/transyst2019515-25.

8. Yunitskiy, A. E. String transport systems on Earth and in space: Scientific monograph [*Strunnie transportnie sistemy na Zemle i v kosmose: Nauchnaya monografiya*]. Minsk, Belaruskaya nauka publ., 2017, 379 p. ISBN 978-985-08-2162-1.

9. Yunitskiy, A. E., Tsyrlin, M. I. Ecological aspects of string transport [*Ekologicheskie aspekty strunnogo transporta*]. *Innovative transport INNOTRANS*, 2020, Iss. 2 (36), pp. 7–9. DOI: 10.20291/2311-164X-2020-2-7-9.

10. Yunitskiy, A. E., Garakh, V. A., Zaitsev, A. D., Tsyrlin, M. I. Design features of a tropical unicar for urban passenger transportation [*Konstruktivnye osobennosti yunikara tropicheskogo dlya gorodskikh perevozok passazhirov*]. *Innovatsionny transport*, 2021, Iss. 1 (39), pp. 8–15. DOI: 10.20291/2311-164X-2021-1-8-15.

11. Timofeeva, M. A., Romanevich, K. V., Potseshkovskaya, I. V. Trends in development of the underground space of cities in connection with the growing motorization [*Tendentsii osvoeniya prostranstva gorodov v svyazi s rastushchei avtomobilizatsiei*]. *Metro i tonneli*, 2021, Iss. 2, pp. 38–42. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45798582>. Last accessed 03.02.2022. ●

Information about the author:

Troitskaya, Natalia A., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Road Transportation of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, tronat@mail.ru.

Article received 12.01.2022, revised and updated 03.02.2022, approved 15.02.2022, accepted 25.02.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-6>World of Transport and Transportation, 2022,
Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 184–192

Evaluation of the Danger of Wheel Lift for Empty Cars in Heavy Trains during Shunting Collisions and Transient Modes of Movement



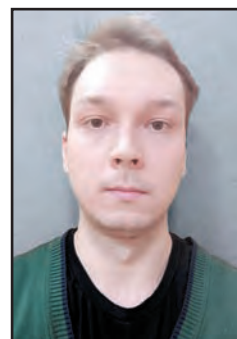
Gennady I. PETROV



Viktor N. FILIPPOV



Nadezhda M. KURZINA



Ivan K. SERGEEV

Gennady I. Petrov¹, Viktor N. Filippov², Nadezhda M. Kurzina³, Ivan K. Sergeev⁴

^{1, 2, 3, 4} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ³kurzina.nadia@gmail.com.

ABSTRACT

The increase in the transit and carrying capacity of cargo intensive sections and directions of railways is achieved by introducing into circulation of cargo trains of increased weight and length, which in turn leads to a change in longitudinal dynamics of movement and emergence of additional loads on rolling stock and the railway track.

In this regard in relation to Russian conditions, to ensure the required volumes of transportation with a preset level of safety, it is necessary to revise the current standards designed for maximum longitudinal compression forces of 50 tf, which are currently more than doubled in heavy trains.

Based on the analysis of existing regulatory documents, domestic and foreign experience, it was possible to substantiate the necessity to improve the longitudinal dynamics of trains and to propose some ways to achieve it. are proposed. The simulation of collision of a free running platform wagon with standard draft gears of Sh-1-TM type with a gondola cars' cut also equipped with standard draft gears of Sh-1-TM type was carried out to identify accident modes. The study has allowed to conclude on the expediency of increasing the energy intensity of draft gear through new design solutions, as well as on reducing longitudinal forces through adoption of floating centre beams.

Keywords: railway cargo wagons, train longitudinal dynamics, calculation of parameters of shunting collisions and transient modes, draft gear, floating centre beam.

For citation: Petrov, G. I., Filippov, V. N., Kurzina, N. M., Sergeev, I. K. Evaluation of the Danger of Wheel Lift for Empty Cars in Heavy Trains during Shunting Collisions and Transient Modes of Movement. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 184–192. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

A growth in transit and carrying capacity of cargo-intensive sections and routes of Russian and some foreign railways is currently achieved by introducing cargo trains of increased weight and length, which in turn leads to a change in the longitudinal dynamics of movement and to the emergence of additional loads on rolling stock and the railway track.

The first regulatory documents, adopted on Russian railways in relation to cargo trains of increased weight and length, defined them as trains weighing more than 6000 t, with a length of more than 284 axles, with one or more operating locomotives located at the head of the train, at the head and tail, at the head and in the last third of the train. As of January 1, 2015, in accordance with classification and profiling of railway lines developed by JSC Institute for Transport Economics and Development, a railway line with heavy cargo traffic was defined as a line with traffic of cargo trains weighing 6300 t and more, including cars with axle load up to 25 tf [1]. At present, to describe the heavy haul traffic, mass of cargo trains from 7000 t and more is increasingly mentioned [2]. Consequently, the mass of heavy trains increased by at least 17 %.

It is worth noting that, in accordance with classification of International Heavy Haul Association (IHHA), a railway for such transportation must meet at least two of the following three criteria [3]:

- Regularly operates or is contemplating the operation of unit or combined trains of at least 5 000 metric tons.
- Hauls or is contemplating the hauling of revenue freight of at least 20 million gross tons per year over a given line haul segment comprising at least 150 km in length.
- Regularly operates or is contemplating the operation of equipment with axle loadings of 25 tons or more [3].

Consequently, foreign colleagues operate with significantly smaller masses of trains, which increases the level of safety of the transportation process.

If the length of the segments of circulation of heavy haul trains in the Russian Federation as of January 1, 2015, was 9,76 % of the operational length of the road network, then the planned length by 2025 should reach 33,6 %. Moreover, circulation of trains weighing 7100 t, with an axle load of 25 tf takes place mainly at the

«Eastern polygon» [Eastern part of the network] to ensure transportation of bulk export cargo to the ports of the Far East, China, as well as from the coal mines of Kuzbass [Kuznetsk Basin]. This part of the rail network is characterised by a complex terrain with many mountain passes, curves of small radius and harsh climate.

From the results of experimental studies, it was found that the vertical forces acting from the wheel on the rail in a heavy haul train increase in proportion to the axial load, and the longitudinal forces can be 2,0–2,5 times greater than the maximum traction force of the locomotive in terms of adhesion [4]. According to JSC VNIKTI data, the maximum longitudinal compression forces in cargo trains exceeded the standard of 50 tf and reached 120 tf in a train weighing 12600 tons and 140 tf in a train weighing 14200 tons [5]. Therefore, at present, to ensure required volumes of transportation with a specified level of safety, it is necessary to revise the current standards and propose options for reducing the negative impact of existing excess loads on rolling stock and the railway track. If in recent years many works by domestic researchers have been devoted to strengthening the roadbed, the superstructure of the railway track, bridge structures on lines with heavy traffic, then insufficient attention has been paid to improvement of the longitudinal dynamics of rolling stock, so this issue is relevant.

The global features of organisation of heavy haul traffic [6] also indicate the expediency of specialisation of the sections of the railway, on which trains of optimal length and weight will run at a certain speed [7], consisting of the most convenient, uniform rolling stock suitable for quick loading and unloading of cars. For this purpose, research is carried out on the conditions of interaction between the carriage and the track, the wheel and the rail, on the longitudinal dynamics of the train, speed modes, the profile and plan of the track of a particular section.

The process of operation, especially incorrect actions of the personnel, can provoke the occurrence of excess dynamic modes, which are particularly dangerous during shunting operations and driving of heavy trains of great length on sections of the track of a complex profile with slopes. The current standards [8] establish the main standardised design modes of loading of various types of rolling stock (Table 1).

However, the existing standards do not establish limit values for longitudinal forces



Table 1

Values of longitudinal design mode loads in the assessment of the strength of different types of cars [8]

Name of cars	Value of longitudinal load, MN			
	Design modes			
	I		III	
	Quasi-static force	Impact, jerk	Quasi-static force	Impact, jerk
Cargo cars of main types	-3,0 +2,5	-3,0 +2,5	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0
Isothermal cars, hopper-dispenser, dump cars	-2,5 +2,5	-3,0 +2,5	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0
Passenger cars of all types, including mail, baggage, and mail-luggage cars	-2,5 +1,5	-2,5 +2,0	-1,0 +1,0	-1,0 +1,0

when driving trains through the sections with complex profiles, considering recuperation modes, and they also do not contain limit values for longitudinal forces, upon reaching which empty cars' wheels can be lifted from the track.

For the first time, the problems of empty cars' wheel lift arose when the cargo fleet began to be equipped with cars with a different number of axles (of two and more). Moreover, two-axle cars had a short base and low tare weight. With appearance of powerful locomotives, cars' wheels were lifted from the track more frequently, which led to accidents. To eliminate this problem, it was necessary to carefully monitor assembling of the train by installing empty cars at the end of the train, which created certain difficulties in performing marshalling and shunting operations. However, later-on, the two-axle cars were taken out of service, and the problem of wheel lift lost its relevance.

With appearance of specialised cars that transported dangerous goods, the issues of the longitudinal dynamics of the train, strength, stability of cars, loading of their elements during shunting collisions and various emergency situations again came to the fore [9; 10]. Various computational simulation models were used, displacements, speeds and accelerations of nodes were analysed along with the forces in individual elements, to study loading of tanks under emergency conditions of collisions.

In the early 2000s, methods were developed for calculating longitudinal dynamic forces in automatic couplers of cargo cars of long and heavy haul trains [11], considering the characteristics of the features of brake devices and draft gears that were widely used at that time, as well as modelling movement of long heavy haul trains along the curve down-slope in the braking mode to identify the area of possible derailment of the car [12].

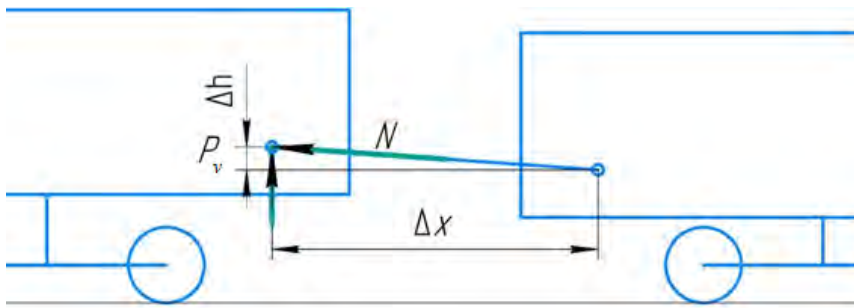
The *objective* of the study was to substantiate the need and suggest a general assessment of possible ways to improve the longitudinal dynamics of trains. Main *methods* of the study comprised content analysis of scientific publications, physical and mathematical calculations, and modelling.

RESULTS

Modern Approaches to the Analysis of the Dynamics of Heavy and Long Trains

Currently, the problem has again become relevant due to a next stage of a significant increase in length and weight of trains. Several international works consider mathematical models of inter-car couplings used in a long and heavy train, taking into account the elastic-frictional properties of draft gears and gaps in automatic couplers connecting train cars.

Modern computational methods make it possible to model each car as a separate mass, that can be further combined into a train through not only elastic, but viscoelastic connections in accordance with the type of draft gear. The work [13], using a mathematical model of a long train consisting of 107 cars with a distributed load, compared different variants of system's coupling. It was demonstrated that reducing slack of coupler results in diminishing internal force and fatigue damage. The nature of friction in the draft gear proved to be an important factor in controlling internal train forces and minimising fatigue damage. It was shown that the fatigue damage occurs mostly in the middle of the train, while in the head part it is minimal due to softer dynamics, and in the tail of the train it is also minimal due to the action of stable forces with rare strong bursts.



Pic. 1. Scheme of action of forces in the automatic coupler node [compiled by the authors].

The work [14], based on a simulation model, studied the effect of emergency braking of heavy trains in curves of different radii on safety and smoothness of train run. Reducing the radius of the curve to 500 m, as well as its length, increases the coefficient of wheel derailment from the outer rail under the condition of braking, significantly reduces the safety and can lead to an emergency. Therefore, it is necessary to choose the optimal train route. The most important factor affecting the efficiency of heavy train control is the increase in the number of cars, and, consequently, weight, length, and axle load, which significantly increases the braking wave during movement of a heavy train and changes its dynamic characteristics.

However, it should be noted that the operating conditions of domestic heavy trains are much tougher than of foreign ones, and are associated with a larger mass of cars, length of routes, a complex plan and profile of the track, as well as the condition of the railway track.

Situation Modelling

Let us consider the factors affecting distribution of forces in the automatic coupler assembly (Pic. 1).

As can be seen from the scheme, vertical force, lifting the car, can be found according to the formula:

$$P_v = N \cdot \frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + \Delta x^2}}. \quad (1)$$

According to the values presented in Table 1, the longitudinal force during train running can reach 3 MN (300 tf). It is easy to estimate the value of the vertical component of the inter-car reaction, knowing the required geometric dimensions. The maximum allowable difference in heights of automatic couplers when assembling a train is $\Delta h = 100$ mm, and the distance between the ends of the automatic couplers of adjacent cars does not exceed $\Delta x = 2000$ mm.

In this case, the vertical component P_v is determined using expression (1):

$$P_v = 300 \cdot \frac{100}{\sqrt{100^2 + 2000^2}} \approx 15 \text{ tf}. \quad (2)$$

Since four-axle cars with a tare weight of not more than 25 tons are most common on the railway network, the force pressing the body to one bogie in the centre plate area will not exceed 12,5 tf, which is less than the calculated value of the vertical component of P_v . Consequently, an empty car that is not equipped with special centre plate fixing devices will be lifted from the track under the given conditions.

Calculations have shown that when an empty platform with draft gears Sh-1-TM rolls from a hump onto a train of five gondola cars with the same draft gears Sh-1-TM at a speed of 3,6 m/s, the longitudinal forces in a collision increase by 2,5 times, and acceleration by 2,7 times compared to the standard mode, which will lead to damage to the automatic coupler of the tail car. And in the case of collision with a half-loaded tank car, the bogie of the head car will roll out.

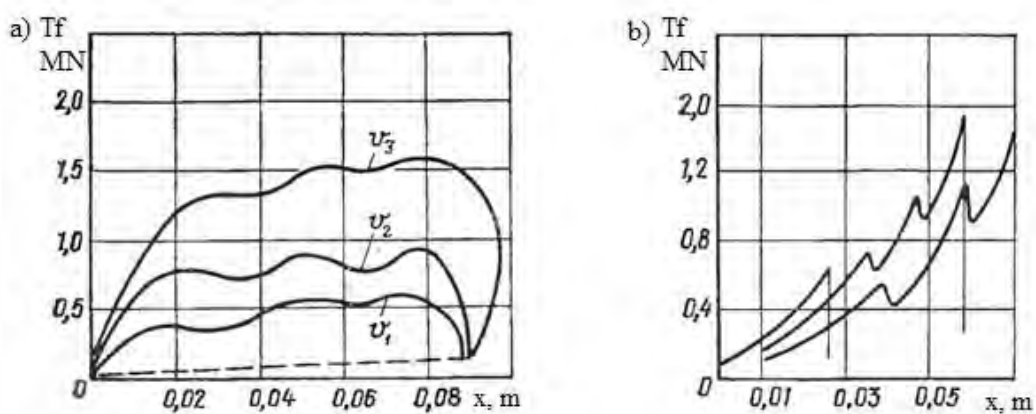
Problem Solution Options

There are several possible solutions to this problem:

1. Changing the characteristics of draft gear to reduce the value of longitudinal forces.
2. Increasing the distance between the ends of the shanks of the automatic couplers of cars by means of some new design solutions.
3. Creation of a rigid connection between the bogie and the body in the centre plate area by using locking pivot. Such a solution is currently implemented in the design of passenger car bodies.

It should be noted that the value of the inter-car reaction is largely affected by the stroke of the draft gear. Due to the fact that the design of





Pic. 2. Types of power characteristics of draft gears [15].
a – soft characteristic, b – hard characteristic.

the automatic coupler was developed in the 1930s, the overall dimensions of the internal part were chosen in such a way as to ensure effective operation of draft gears designed at that time. However, this design of the apparatus, which provides a maximum stroke of the apparatus of 120 mm, has not been improved since those times, which imposes significant geometric restrictions on the developed models of modern draft gears.

The value of irreversibly absorbed energy in the apparatus depends on the area of the power characteristic, the most common variants of which are shown in Pic. 2 [15].

One of the options for solving the problem of reducing the longitudinal force in the train is the use of devices with a soft characteristic instead of those that have a hard force characteristic. The former mainly include elastomeric and hydraulic draft gears, as well as other promising designs being developed (for example, hydro-gas apparatuses, where liquid and gas under pressure are used as a working body).

Foreign experience of previous years [16] also showed the feasibility of using draft gear with a soft power characteristic, which is achieved not only by choosing the type of working fluid (friction, elastomeric, hydraulic, or combinations thereof), but also by increasing the maximum stroke due to changes in dimensions (primarily length) of the absorbing apparatus. Design solutions for various American draft gears from 18 to 43 inches long are shown in Pic. 3.

Recently, researchers have carried out a comparative assessment of influence of a type of

power characteristic of draft gears on the maximum longitudinal forces arising in inter-car connections of trains [17]. Based on the results obtained, the main positive and negative properties of the rigid, linear and soft power characteristics of draft gears of automatic couplers are determined.

To calculate various situations of shunting collision and transient modes of train movement, domestic specialists have developed a general mathematical model that describes operation of an elastomeric draft gear, which is the dependence of the response of the gear on its deformation and speed of such a deformation, considering initial tightening of the device and the properties of working bodies [18].

The criterion of power consumption is proposed to be used as a parameter characterising the efficiency of draft gears of various types [19].

Thus, the widespread use of elastomeric draft gears (or others with a soft characteristic), as well as an increase in their maximum working stroke, will reduce the value of inter-car dynamic forces and solve the problem of wheel lift of empty cars in a train.

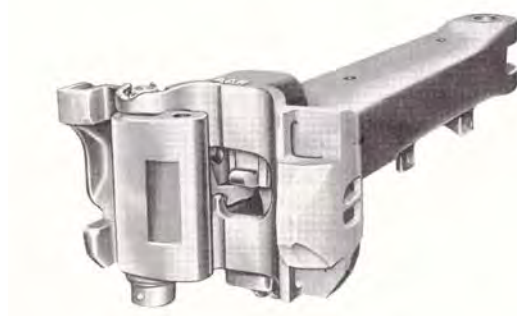
Besides, since the vertical component of the inter-car reaction depends on the location of the ends of automatic couplers, the design in which the parameter Δx will be larger compared to traditional implementation, will reduce the value of the lifting force. This effect can be achieved through the use of automatic couplers of increased length in the design of the draft. Such options were implemented on US railways in the second half of the 20th century. Some designs of such automatic couplers are shown in Pics. 4–6.



Pic. 3. Types of draft gear used on American railways: a) friction; b) hydraulic-friction; c) rubber friction [16].

However, the use of automatic couplers of increased length entails coupling problems in curves and requires the use of devices with a large elastic stroke. In addition, considering the latest trends in the growth of axial loads of rolling stock, the values of longitudinal accelerations in trains can reach 12g. To solve this problem, special end stops were used on American railways (Pic. 7). This design makes it possible to prevent the cargo from leaving the body of rolling stock at a high level of longitudinal accelerations.

It should be noted that the use of design that allows not only to prevent the load from rolling out, but also to reduce the level of longitudinal accelerations is also relevant. Such solutions include the use of floating centre beams, which were first introduced on US railways in the second half of the 20th century. The first experiment involved the procedure for introducing a hydraulic damper into the central part of the main beam (Pic. 8). As a result of the experimental studies, data were obtained

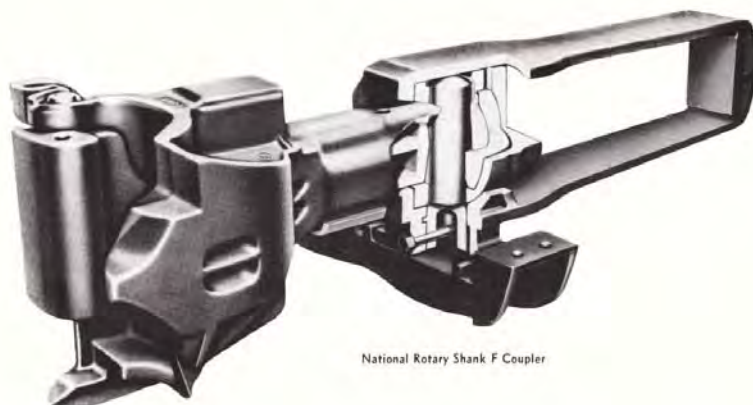


Pic. 4. AAR (H) type automatic coupler [16].





Pic. 5. AAR (H) type automatic coupler with yoke [16].



Pic. 6. National E-F automatic coupler with swivel shank [16].



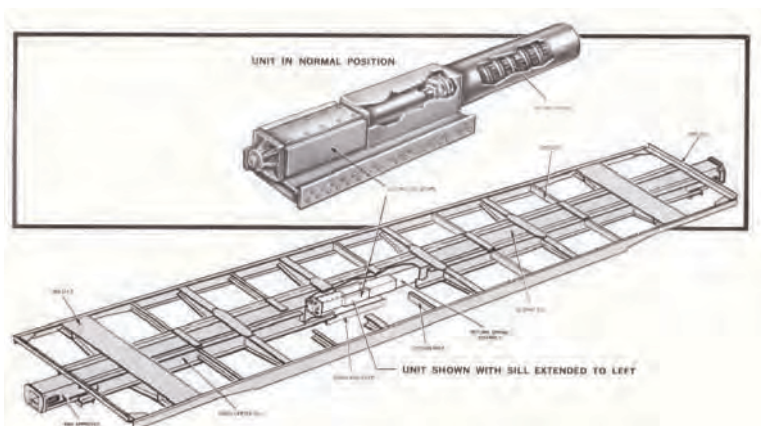
Pic. 7. Evans Products platform with end stops [16].

confirming the decrease in the value of the horizontal component of the traction force in the automatic coupler assembly (Pic. 9).

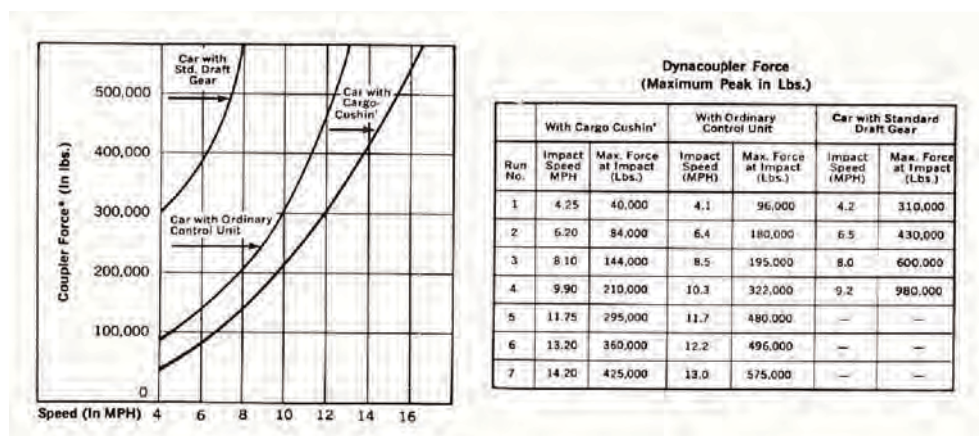
Table in Pic. 9 shows the various impact speeds and the corresponding forces in the coupler. During test number 3 (third line), the maximum force in the automatic coupler of a standard centre beam car was 600000 pound-forces, while in the

test of a car with a floating centre beam, the force value decreased by more than four times and amounted to 144000 pound-forces.

On domestic railways, attempts to use car designs with floating centre beams [20] took place only as part of testing special-purpose cars, for example, car models 11-9960 of JSC TVZ [20].



Pic. 8. Centre beam with hydraulic damper in the central part [16].



Pic. 9. Results of testing the loading test of a car with and without a floating centre beam [16].

CONCLUSIONS

Thus, the solution of issues related to the study of the longitudinal dynamics of trains in modern conditions of their operation (a significant increase in the part of long and heavy trains running along curved and mountain-pass sections), as well as to updating relevant regulatory documents, is a very urgent task.

Preliminary calculations showed that an increase in speed of free running an empty platform with Sh-1-TM draft gears from a hump up to a collision with a cut of five gondola cars with the same devices by more than 3 m/s significantly increases the longitudinal forces during a collision and acceleration, which could lead to damage to the automatic coupler of the tail car, and in the case of a half-loaded tank car – to the derailment of the bogie of the head car. For more accurate assessment of emergency situations, it is necessary to simulate a larger number of options on various types and models of cars.

Based on the studied domestic and foreign experience in improving longitudinal dynamics of trains, it is advisable to increase energy intensity of draft gears of the automatic coupler not only by improving the working fluid, but also by increasing the maximum working stroke by changing the distance between the ends of the shanks of the automatic couplers, as well as to develop design for serial cars of various types with floating centre beams.

The development of specific recommendations can be carried out in the course of further in-depth studies of this issue.

REFERENCES

1. Sharapov, S. N., Isaenko, E. P. Recommendations for strengthening the track on lines with heavy haul traffic [Rekomendatsii po usileniyu puti na liniyakh s tyazhelovesnym dvizheniem]. Put'i putevye khozyaistvo, 2016, Iss. 7, pp. 2–7. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26463710>. Last accessed 11.01.2022.

2. Pekhterev, F. S. On promising polygons for circulation of trains with cars with increased axial load [O perspektivnykh polygonakh obrashcheniya sostavov poezdov iz vagonov



s povyshennoi osevoi nagruzkoi]. *Zheleznodorozhny transport*, 2016, Iss. 10, pp. 31–33. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27170504>. Last accessed 11.01.2022.

3. Heavy Haul Rail Capacity Development in India (HHRCDI). Terms of Reference. 7 July 2014, 5 p. [Electronic resource]: http://dfccil.com/upload/7th_July.2014_TOR_HHRCDI_final__1_08072014.pdf. Last accessed 11.01.2022.

4. Research on the dynamics of rail vehicles [Issledovaniya po dinamike relsovykh ekipazhei]. Ed. by prof. V. A. Lazaryan. Dnepropetrovsk, 1974, 170 p.

5. Kossov, V. S., Lunin, A. A., Panin, Yu. A., Trifonov, A. V., Ilyin, I. E. Impact of long-haul trains on the track [Vozdeistvie dlinnosostavnykh poezdov na put']. *Vestnik VNIIZhT*, 2016, Vol. 75, Iss. 4, pp. 224–232. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26452928>. Last accessed 12.01.2022.

6. Genin, I., Ginsberg, I., Ting, E. Longitudinal track-train dynamics: a new approach. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 1974, No. 4, pp. 466–469. DOI: 10.1115/1.3426847.

7. Martin, I. C. Study optimum length, speed and weight of freight trains under varying traffic and competitive and operating conditions. *Bulletin of American Railway Engineering Association*, 1972, Vol. 74, No. 639, pp. 11–23.

8. Norms for calculation and design of railway cars of the Ministry of Railways of the 1520 mm gauge (non-self-propelled) [Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh doog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT, 1996, 317 p. [Electronic resource]: <https://dwg.ru/dnl/2822>. Last accessed 12.01.2022.

9. Filippov, V. N., Radzikhovskiy, E. A. Study of the behavior of cars in the case of emergency collision (Analysis of emergency situations with tanks) [Issledovanie povedeniya vagonov pri avariinom soudarenii (Analiz avariinykh situatsii s tsisternami)]. *Vestnik VNIIZhT*, 1994, Iss. 3, pp. 9–12. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28874890>. Доступ 12.01.2022.

10. Boldyrev, A. P., Gapchin, R. B. Improvement of mathematical models of elastomer dampers for tank cars [Sovershenstvovanie matematicheskikh modelei elastomernykh pogloshchayushchikh apparatov dlya vagonov-tsistern]. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2012, Iss. 3 (35), pp. 57–63. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23741702>. Last accessed 12.01.2022.

11. Bubnov, V. Yu. Reduction of longitudinal forces in automatic couplers of cars during movement of heavy and long cargo trains [Umenshenie prodolnykh usilii v avtostepkakh vagonov pri dvizhenii tyazhelovesnykh i dlinnosostavnykh gruzovykh poezdov]. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. St. Petersburg, PGUPS publ., 2006, 24 p. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_003258253/. Last accessed 12.01.2022.

12. Kvasnikov, B. N. Study of the possibility of ejection of a car when a long heavy train moves along a curve downhill

in the braking mode [Issledovanie vozmozhnosti vybroza vagona pri dvizhenii dlinnogo tyazhelovesnogo poezda po krivoi pod uklon v rezhime tormozheniya]. *Bulletin of Petersburg State Transport University*, 2008, Iss. 3 (16), pp. 126–146. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-vybrosa-vagona-pri-dvizhenii-dlinnogo-tyazhelovesnogo-poezda-po-krivoi-pod-uklon-v-rezhime-tormozheniya>. Last accessed 13.01.2022.

13. Cole, C., Sun, Y. Q. Simulated comparisons of wagon coupler systems in heavy haul trains. Centre for Railway Engineering, Central Queensland University, Australia. *Proc. IMechE*, 2006, Vol. 220, Part F, pp. 247–256. DOI: 10.1243/09544097JRR235.

14. Wang, Yuqi; Zheng, Shouwei. Simulation analysis of dynamic control performance of heavy haul train under breaking. *Academic journal of manufacturing engineering*, 2020, Vol. 18, Iss. 3, pp. 193–200. [Electronic resource]: <https://docplayer.net/202780300-Simulation-analysis-of-dynamic-control-performance-of-heavy-haul-train-under-breaking.html>. Last accessed 13.01.2022.

15. Shadur, L. A., Chelnokov, I. I., Nikolsky, L. N. [et al]. Cars: Design, theory, and calculation [Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet]. Ed. by L. A. Shadur. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1980, 440 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/shadur-lared-vagony-konstruktsiya-teoriya-i-raschet_893a40e66cf.html. Last accessed 13.01.2022.

16. Car and Locomotive Cyclopedia of American Practice. 2nd edition by C. L. Combes (Editor). New York, Simmons-Boardman Publication Corporation, 1970, 1074 p. ISBN-10 1122559348, ISBN-13 978-1122559348.

17. Shimanovsky, A. O., Sakharau, P. A., Kuzniatsova, M. G. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Vol. 985, pp. 012027. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012027.

18. Andriyanov, S. S. Mathematical Model of an Elastomeric Draft Gear. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 2 (57), pp. 214–218. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/286>. Last accessed 12.01.2022.

19. Koturanov, V. N., Bepalko, S. V., Kornienko, N. A., Kozlov, M. P. Power consumption as an energy criterion for evaluating the efficiency of automatic coupler draft gears [Potrebyaemaya moshchnost kak energeticheskii kritei otsenki effektivnosti pogloshchayushchikh apparatov avtostepki]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2017, Iss. 3, pp. 18–22. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30607267>. Last accessed 12.01.2022.

20. Asadulin, E. A., Paizildaev, A. I., Meparishvili, G. R. Parameters of a floating center beam and relevance of its application for cargo rolling stock [Parametry plavayushchei khrebtovoi balki i aktualnost ee primeneniya dlya gruzovogo podvizhnogo sostava]. *Vestnik nauki*, 2020, Vol. 4, Iss. 6 (27), pp. 197–201. [Electronic resource]: <https://www.xn---8sbemcplcw3bmt.xn--p1ai/article/3380>. Last accessed 18.01.2022.

Information about the authors:

Petrov, Gennady I., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Cars and Car Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, petrovgi@gmail.com.

Filippov, Viktor N., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Cars and Car Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, filipovvn@gmail.com.

Kurzina, Nadezhda M., Ph.D. student at the Department of Cars and Car Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kurzina.nadia@gmail.com.

Sergeev, Ivan K., Ph.D. student at the Department of Cars and Car Facilities of Russian University of Transport, Moscow, Russia, sergeev.workmail@yandex.ru.

Article received 19.01.2022, approved 17.02.2022, accepted 22.02.2022.



TRANSPORT POLICY

194

Impact of transport policy on economy and economic growth. Clarification of definition, systematisation of implementation foundations, and process chart of implementation tools. In-depth analysis of economic factors.

EXPRESS INFORMATION

200

Implementation of national project «Safe High-Quality Roads» in 2021.



BUSINESS PROCESS AND DIGITALISATION

201

How do modern business processes and digitalisation processes interact and complement each other? Transformation of process architecture of companies and its influence on technical maturity, technological adaptability, ecological friendliness, and reengineering of the business. Metrics of automation and digital confidence.



ECONOMICS





Transport Policy: Theoretical Framework and Economic Aspects



Artur V. Karlov

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ karlov@edu.rut-miit.ru.

Artur V. KARLOV

ABSTRACT

The transport policy of the state is an integral part of its economic and spatial policy. The relevance of the clarification of the content of the term «transport policy» is conditioned by the attention of the state to the issues of strategic planning in the field of transport. In Russia, it was clearly evidenced by the approval in 2021 by the Government of the Russian Federation of the updated Transport Strategy of the country until 2030 with a forecast for the period until 2035.

The article reviews the definitions of transport policy in the scientific literature: its economic, environmental, technical, geopolitical and other aspects are considered. At the same time,

the main emphasis of the study was on the economic factors of transport policy: the materials of economic theories (spatial development and distribution of productive forces), decision theories and methods for assessing the effectiveness of investments in transport infrastructure were considered. The definitions and the range of their application are specified. Also, the components of the transport policy have been established and a range of tools of its implementation has been defined, incl. financial, regulatory, etc.

Based on the data obtained, a structure of the relationship between transport policy and economic growth was compiled, social and other components to economic aspects were identified.

Keywords: transport policy, state policy, transport, transport economics.

For citation: Karlov, A. V. Transport Policy: Theoretical Framework and Economic Aspects. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 194–199. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-7>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

The transport policy of the state is both a well-studied and at the same time poorly structured field of knowledge. While the role of transport in the economy, the impact of individual transport projects on socio-economic development are the subject of numerous scientific works, the very term «transport policy», the range of its use, study and application is still poorly substantiated in the Russian-language scientific literature. Consequently, the methodological framework of the transport policy is also rather poorly defined.

The topic of transport policy, as a theoretical field of knowledge, is especially relevant in the country since in November 2021 the Government of the Russian Federation approved the updated Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035¹. The 2021 edition of the strategy introduced some new principles and concepts into the system of state administration and management of transport industry development. The Strategy has shifted spotlight to consumers of transport services – passengers, business, the state, thereby setting a benchmark for customer centricity. Also, the Strategy introduced the concept of a Single backbone transport network, which includes a backbone network of roads, railways, airports, seaports, inland waterways. The single network is the framework of the country's transport system, which will receive priority development.

Thus, the state has formed the main vectors and areas for implementation of the transport policy.

The *objective* of the study is to analyse the theoretical framework of modern transport policy: a review of concepts (transport policy, strategic planning), scientific basis (theory of spatial development, decision-making methods) and the relationship of transport policy with economic growth.

Research applied *methods* of a systematic approach, synthesis, linguistic and economic analysis, expert assessments.

The framework of the study included analysis of available definitions and methodological provisions for the application of transport policy

tools, development of proposals for their development. Relationship between practical tools and scientific developments was revealed, the economic aspects of transport policy were identified and structured.

RESULTS

Analysis and Adaptation of Terminology

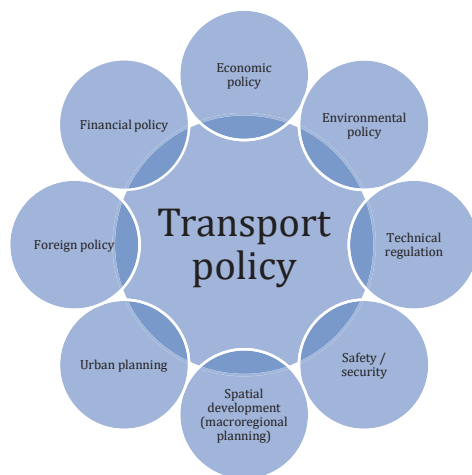
The analysis of domestic literature on the topic of transport policy demonstrates a broad interpretation of the term «transport policy». Even though the term is well-established and is used by domestic researchers in the context of studying the political and economic prerequisites for implementation of decisions in the field of transport, it seems that there is no single conceptual construct in respect of the very term «transport policy».

Thus, researchers, among them Yu. F. Golius, N. V. Mishina, M. Yu. Sokolov, consider transport policy as a derivative of the broader context of state policy [1–4]. Several authors, e.g., O. V. Dmitruk, V. V. Tsyganov, V. A. Borodin, A. V. Lemeshkova, Yu. I. Shelistov, V. Yu. Ladvischenko, consider transport policy in the context of regional economic integration, for example, within the framework of the European Union and of the Eurasian Economic Union [5–7]. M. Yu. Medvedkov discusses transport policy also in the context of accession to the WTO [8], O. I. Karasev, A. O. Krivtsova [9] and many other authors considered examples of transport policy at the level of urban economics. It should be noted that none of the above domestic sources has defined the term «transport policy».

In foreign literature, the subject has been most elaborated by Jean-Paul Rodrigue [10], who has considered the differences between policy and planning in the transport sector and has also given clear definitions to both terms. Iain Docherty, Jon Shaw considered in their chapter in «International Encyclopedia of Human Geography» [11] a set of management models in the transport industry within the framework of the broader English term *governance* that has specific interpretation, which in a rather simplified form can be explained as management (at the state, corporate level) based on vesting with authority. In applied research, transport policy, as a rule, is widely considered in the context of analysing the effectiveness of infrastructure projects [12; 13] and when taking into account the factors of sustainable development [14].

¹ Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, No. 3363-r «On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035». [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>. Last accessed. 17.01.2022.





Pic. 1. Formation of transport policy [compiled by the author].

The analysis of the mentioned materials allows to synthesise a range of areas (shown in Pic. 1) to which the transport policy is related.

Based on the analysis carried out, the following definition has been formulated: *«Transport policy is a set of practices, principles and criteria underlying regulation of the social, economic, technical and environmental aspects of development of the transport system, as well as its safe operation and achievement of its output».*

The introduction of this definition into scientific circulation will allow substantiating and analysing certain scientific areas of transport policy, its components, and fundamental principles.

Economic Aspects of Implementation of Transport Policy

It is proposed to consider in more detail the economic aspects of transport policy. An analysis of the above and other sources indicates that the primary (but not the only) objective of transport policy is to reduce transport costs.

The task of reducing transport costs is studied in a significant amount of dedicated scientific literature devoted, it is also closely related to the problem of spatial development and location of productive resources, economic geography [15].

Despite a well-developed theoretical basis, in real life decisions on spatial development are made outside the framework of rational processes, they are influenced by political and historical factors.

Therefore, the decision-making process in transport policy is also an integral part of the policy implementation process as such. The very

theoretical basis of this process is quite universal and lies in the plane of political science and is considered within the framework of the theories of decision-making and regulatory impact assessment² [16]. At the same time, this methodology takes it to the next level of transport policy: selection of specific projects for implementation. An example of this connection can be illustrated with the methods for selecting infrastructure projects based on the methodology of multi-criteria analysis, which, as a rule, requires expert assessments and the assignment of weight coefficients for various criteria, including, for example, for sustainable development factors [17].

Table 1 shows a chain of principles and methodologies for planning the development of transport systems, which includes the main theoretical basis for implementation of transport policy: from the basics (justification of the need to reduce transport costs), through decision-making (cognitive process), to applied decisions and assessments (assessment of the effectiveness of decisions made).

Relationship Between Transport Policy and Economic Growth

Investments in transport infrastructure and technological development of the industry traditionally lead to a reduction in transport costs, which, in turn, stimulates economic growth [18]. Claudia N. Berg, Uwe Deichmann, Yishen Liu and Harris Selod note the role of the state and its policies in achieving relevant economic indicators. Based on the analysis of world

² Kuznetsova, N. V. Methods of making managerial decisions: Study guide. Moscow, Infra-M publ., 2015, 222 p.

Table 1

Structural representation of the theoretical foundations of implementation of transport policy [developed by the author]

Methodology	Theoretical and methodological approaches
Theories of spatial development and location of productive resources (contribution of the transport industry to the economy)	• Theories of regional specialisation and interregional trade (A. Smith, D. Ricardo, E. Heckscher, B. Ohlin). • Industrial location [«Standortes»] theory (J. Thünen, W. Launhardt, A. Weber). • W. Christaller's central-place theory. • A. Lösch's industrial location theory. • W. Isard's regional concept. • Theories of growth poles and clusters. • Theory of macro-regional planning. • Various models for assessing the contribution of the transport industry to the economy (interregional intersectoral optimisation model, etc.).
Decision-making methodology (main applicable models and theories)	• Classical (normative). • Behaviourist (H. Lasswell). • Descriptive (H. A. Simon). • Carnegie model (H. A. Simon, J. G. March, R. M. Cyert). • Model of all-comprehensive rationality (V. L. Smith, J. Bentham). • Cognitivist model of bounded rationality. • Model of incremental decision-making process (H. Mintzberg). • Garbage can model (M. D. Cohen, J. G. March, J. P. Olsen). • Ch. E. Lindblom's theory of gradual increments. • Delphi method.
Methodology for assessing the effectiveness of investments into the transport infrastructure for the economy	• Cost-benefit analysis (CBA) and its derivatives: ◦ cost-effectiveness analysis (CEA); ◦ cost-utility analysis (CUA); ◦ weighted cost effectiveness analysis (WCEA). • Methods of analysis of the cumulative economic effect (including models of intersectoral «input-output» balance). • Methods of multi-criteria analysis (including the T. Saaty's Analytic Hierarchy Process, and others).

practices in implementation of transport policy, it seems possible to highlight the following three main instruments of transport policy in the economic plane:

- Investments in infrastructure.
- Financial regulation (subsidies, taxes, etc.).
- Legal regulation.

Investments directly affect economic development already at the stage of infrastructure construction thanks to an increase in output from other industries (intersectoral balance model and others [19; 20]). As a rule, investments in transport infrastructure reduce transport costs, increase availability of transport services for the population, cargo owners, and the state, and contribute to spatial and industrial development.

Financial regulation includes subsidies or taxes that influence choice of mode of transport and consumer's behaviour (e.g., reductions in fares for certain groups of population or carriers, tolls, parking fees, fuel surcharges, and subsidies for environmentally friendly transport).

Legal regulation includes regulatory acts of direct action (for example, establishing environmental requirements for rolling stock,

regulation of the use of control systems of driving times and rest periods, putting into operation of systems controlling carriers' rolling stock (Platon³, vehicles' weight and size control), acts regulating market patterns (deregulation, privatisation, nationalisation) or the organisation of a particular sector of the industry (e.g., regulation of the taxi or bus market), as well as acts regulating construction of infrastructure.

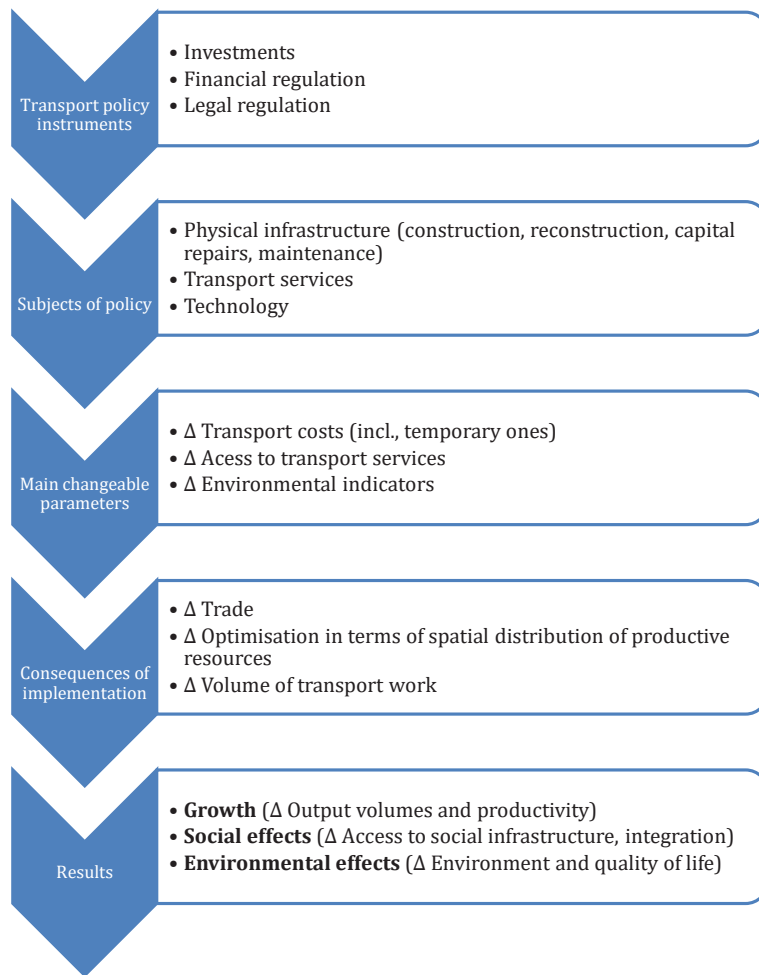
Some transport policy measures are aimed at stimulating the supply side of the transport services market (for example, investment in infrastructure), while others are demand-driven, such as transportation subsidies.

The projection of economic aspects of transport policy on the state policy leads to the effects that result in:

- 1) Stimulating growth (for example, by reducing transport costs, which facilitates the agglomeration effect, stimulates trade and

³ Russian Platon Electronic Toll Collection (ETC) system intended for collection of toll charges offsetting the damage caused to Russian Federal Highways by vehicles exceeding 12 tons of gross vehicle weight (HGV N3 sub-category). – *Transl. note.*





Pic. 2. Logic of transport policy implementation [compiled by the author].

structural changes, leads to increased productivity).

2) Facilitating access to social infrastructure (for example, by improving access to transport services for the population, including for rural and socially vulnerable groups).

3) Environmental factors (for example, by reducing the negative impact of transport on the environment).

Considering the above, it is possible to construct the process diagram of the scheme in terms of implementation of the transport policy instruments, taking into account the economic aspects (Pic. 2).

Compliance with the presented logic makes it possible to visually trace the relationships within the set of transport policy instruments described above, its impact on policy entities, to monitor variable targets, assess the consequences of implementation of the transport

policy on exogenous (trade, industry) and endogenous (volume of transport work) factors, and to analyse the results in terms of achieving the target rates of economic growth, sound social effects and reducing the negative environmental impact.

CONCLUSION

The transport policy of the state is formed considering numerous factors: social, economic, environmental, technological, political, and other ones. The results of the study, the proposed definitions, and conceptual approaches offer a variant of structured representation of these factors to substantiate the decision-making methodology in transport policy, identify and systematise its economic aspects.

The structured representation allows further development of a theoretical basis to study the transport policy of the Russian Federation, the

features of its formation on the examples of specific mechanisms and legislation.

REFERENCES

1. Goliusov, Yu. F. Priorities of the Russian transport policy [*Prioritety rossiiskoi transportnoi politiki*]. *Vlast*, 2009, Iss. 6, pp. 58–60. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12786632>. Last accessed 17.01.2022.

2. Mishina, N. V. Transport policy as an industry subsystem of political management [*Transportnaya politika kak otraslevaya podсистема politicheskogo upravleniya*]. *Gosudarstvennoe i munitsipalnoe upravlenie. Uchenie zapiski SGAKS*, 2011, Iss. 2, pp. 139–144. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19029660>. Last accessed 17.01.2022.

3. Sokolov, M. Yu. «Safe and high-quality roads» – a priority project of transport policy [*«Bezopasnie i kachestvennye dorogi» – prioritetniy projekt transportnoi politiki*]. *Transport of Rossiiskoi Federatsii*, 2016, Iss. 5 (66), pp. 3–6. [Electronic resource]: <http://rostransport.com/transportrf/download.php?src=/transportrf/pdf/66/1994-831X-2016-5-3-6.pdf>. Last accessed 17.01.2022.

4. Gorbachik, T. V. Economic Aspects of Transport Complex Strategic Management. *World of Transport and Transportation*, 2016, Iss. 4, pp. 106–115. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1986>. Last accessed 17.01.2022.

5. Khegay, Yu. A. Foreign experience of the transport policy [*Zarubezhnyy opyt transportnoi politiki*]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*, 2013, Iss. 8, pp. 350–352. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36422821>. Last accessed 17.01.2022.

6. Tsyganov, V. V., Borodin, V. A., Lemiashkova, A. V. Concept of network-centric transport policy in Eurasia [*Kontseptsiya setetsentrichnoi transportnoi politiki v Evrazii*]. *ITNOU: information technologies in science, education and management*, 2018, Iss. 4 (8), pp. 45–49. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36422821>. Last accessed 17.01.2022.

7. Shelistov, Yu. I., Ladvischenko, V. Yu. Transport policy of the EU: logic of formation, institutional structure [*Transportnaya politika ES: logika stanovleniya, institucionalnaya struktura*]. *Moscow University Bulletin. Series 12. Political sciences*, 2010, Iss. 6, pp. 84–94. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15607153>. Last accessed 17.01.2022.

8. Medvedkov, M. Yu. Accession of Russia to the WTO and its transport policy [*Prisoedinenie Rossii k VTO i ee transportnaya politika*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2006, Iss. 1 (2), p. 17. [Electronic resource]: <http://rostransport.com/transportrf/pdf/2/06.pdf>. Last accessed 17.01.2022.

9. Karasyov, O. I., Krivtsova, A. O. Efficiency factors of urban transport policy [*Faktory effektivnosti transportnoi politiki goroda*]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, Iss. 2, pp. 22–28. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37635251>. Last accessed 17.01.2022.

10. Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems. 5th ed., Routledge, 2020, 480 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>.

11. Docherty, I., Shaw, J. Governance, Transport. In: Kitchin, R., Thrift, N. (eds.). *International Encyclopedia of*

Human Geography. Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 615–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.01033-6>.

12. Vickerman, R. Beyond cost-benefit analysis: the search for a comprehensive evaluation of transport investment. *Research in Transportation Economics*, 2017, Vol. 63, pp. 5–12, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.04.003>.

13. Transport infrastructure and economic growth (2019) [*Transportnaya infrastruktura i ekonomicheskii rost(2019)*]. Report the Centre of Economics of Infrastructure. Scient. ed. P. A. Chistyakov, P. A. Lavrinenko. Moscow, Pero publ., 2019, 142 p. [Electronic resource]: <http://infraeconomy.com/tpost/m9cuy36th1-transportnaya-infrastruktura-i-ekonomich>. Last accessed 17.01.2022.

14. Efimova, O. V., Baboshin, E. B., Zagurskaya, S. G. Transformation of competencies for sustainable transport development [*Transformatsiya kompetentsii dlya ustoychivogo razvitiya transporta*]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2021, Iss. 12, pp. 43–53. [Electronic resource, paid access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47393147>.

15. Bukhvald, E. M., Kolchugina, A. V. The spatial development strategy and national security priorities of the Russian Federation [*Strategiya prostranstvennogo razvitiya i prioritety natsionalnoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii*]. *Ekonomika regiona*, 2019, Iss. 3, pp. 631–643. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40380775>. Last accessed 17.01.2022.

16. Zembatov, M. R. Regulatory impact assessment in foreign countries: comparative legal analysis and prospects of Russian economy [*Otsenka reguliruyushchego vozdeystviya v zarubezhnykh stranakh: sravnitelno-pravovoy analiz i perspektivy Rossiiskoi ekonomiki*]. *Problemy ekonomiki i yuridicheskoi praktiki*, 2018, Iss. 5, pp. 37–42. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36457505>. Last accessed 17.01.2022.

17. Donais, F. M., Abi-Zeid, I., Waygood, E. O. D., Lavoie, R. A review of cost–benefit analysis and multicriteria decision analysis from the perspective of sustainable transport in project evaluation. *EURO Journal on Decision Processes*, 2019, Vol. 7, Iss. 3–4, pp. 327–358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40070-019-00098-1>.

18. Berg, C. N., Deichmann, U., Liu, Y., Selod, H. Transport Policies and Development. *The Journal of Development Studies*, 2017, Vol. 53, Iss. 4, pp. 465–480. DOI: <https://doi.org/10.1080/00220388.2016.1199857>.

19. Shirov, A. A., Yantovsky, A. A. Intersectoral macroeconomic model as the core of complex forecasting calculations [*Mezhotraslevaya makroekonomicheskaya model kak yadro kompleksnykh prognoznnykh raschetov*]. *Problemy prognozirovaniya*, 2014, Iss. 3 (144), pp. 18–31. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23378051>. Last accessed 17.01.2022.

20. Zamkovoy, A. A., Ivanter V. V., Leshchev, M. V., Mikhailov, V. V., Pekhterev F. S., Popov, E. V., Uzyakov M. N., Shestakov, P. A., Shirov, A. A. Using the method of intersectoral balance for scientific substantiation of strategic development of the Russian railway system [*Ispolzovanie metoda mezhotraslevogo balansa dlya nauchnogo obosnovaniya strategicheskogo razvitiya zheleznodorozhnoi sistemy Rossii*]. Moscow, UP Print publ., 2015, 208 p. [Electronic resource]: <https://ecfor.ru/publication/mezhotraslevoj-balans-zheleznodorozhnaya-sistema>. Last accessed 17.01.2022.

Information about the author:
Karlov, Artur V., Ph.D. student at Russian University of Transport, Moscow, Russia, karlov@edu.rut-miit.ru.

Article received 17.01.2022, approved 11.02.2022, accepted 18.02.2022.





16,5 THOU KM OF ROADS WERE REPAIRED IN 2021 IN RUSSIA WITHIN THE FRAMEWORK OF NATIONAL SAFE HIGH-QUALITY ROADS PROJECT

In 2021, 16,5 thousand km of roads were repaired in Russia. The program of the Regional and Local Road Network federal project included more than 6 thousand objects. By the end of the year, about 141 million square meters of road surface had been paved within urban agglomerations, as well as on roads of regional networks.

To increase the economic connectivity of the country's territories and within the framework of the new Development of the Federal Backbone Network federal project the program included 250 km of federal highways.

The opinion of residents, the technical condition of the sites and their social significance were considered when compiling the list of priority objects to be repaired.

The service life of new and renewed road sections directly depends on the quality of work. In 2021, more than 71,3 % of all contracts under the national project provided for the use of modern technologies. The share of life-cycle contracts was 31,2 %.

The safety of road users is the most important component of the national project. In 2021, the program of the national project included measures for the installation of more than 226 thousand new road signs, over 3,1 thousand traffic lights and 1,481 thousand linear meters of stationary lighting, the arrangement of about 1,755 thousand linear meters of barriers and 290 thousand linear meters of pedestrian fencing, the application of more than 28,6 million linear meters of marking, as well as the installation and improvement of more than 1,6 million square meters of sidewalks.

The task of ensuring the good condition of existing roads is no less important than the construction of new ones. According to experts, one of the most destructive factors for the road surface is the high load on the surface of the carriageway. As part of the implementation of the System-Wide Measures for the Development of the Road Sector federal project, it had been planned to install by the end of the year 197 automatic weight and size control points on

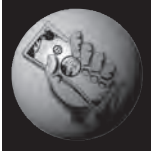


regional highways, these points being capable to automatically weigh and identify the dimensions of a vehicle without making it brake or completely stopping it, to calculate the speed of a car and to proceed with photo recording.

Another important social task of the national project is the renewal of passenger public transport. Federal support is carried out using the leasing mechanism, namely, granting carriers the right to purchase vehicles at a discount of 60 % of their value. 14 urban agglomerations selected on a competitive basis received in 2021 477 new vehicles: 324 buses and 153 trolleybuses.

The national road project is focused on achieving the national goal «Comfortable and safe environment for life». The main target of the project is to ensure that at least 85 % of the road network in the largest urban agglomerations comply with regulatory requirements by 2024.

Compiled based on the news of the press centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10148> ●



Process Approach as the Basis for Digital Transformations in Transport and Logistics Business



Olga V. EFIMOVA



Sergey S. PINCHUK

*Olga V. Efimova¹,
Sergey S. Pinchuk²*

^{1,2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ s.s.pinchuk@miit.ru.

ABSTRACT

Process management raises the level of technological development of the transport system, serves as the basis for digitalisation of passenger and cargo transportation, reduces costs, improves reliability, safety of infrastructure and vehicles, as well as environmental friendliness of the transport.

Digital technology provides an opportunity to restructure production systems of all sectors of the economy to improve interaction with customers, employees, and ecosystem partners, as well as to reduce costs.

To build a new operating model, it is necessary to identify losses in existing processes and seize the opportunities offered by digital transformation.

The article discusses the main methodological gaps in the transformation of the process architecture of companies, considering the features of large holding-type structures. The objective of the study is to determine the directions of transformation of the process architecture of transport companies.

The article proposes to evaluate the level of digital maturity of processes based on the deviation from target values of two of its indicators: the level of automation and the level of digital trust.

The need to systematise the methodological aspects of the transition to a process type of management in transport companies through business process reengineering determines the relevance of adapting applied tools and methods of its application.

Keywords: transport, digital transformation, enterprise business architecture, metrics of technological progressiveness of processes.

For citation: Efimova, O. V., Pinchuk, S. S. Process Approach as the Basis for Digital Transformations in Transport and Logistics Business. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1(98), pp. 201–206. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-8>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

Process management has become widespread in the transport industry. It facilitates the adoption of new technologies, serves in general terms as an effective basis for improving technological maturity of transport processes, as well as helps to reduce costs, increase reliability, environmental friendliness, and sustainability of the transportation industry. The process approach creates a favourable environment for digitalisation of transport activities, passenger and cargo transportation, maintenance, and development of infrastructure. In turn, digital technology makes it possible to restructure and, if necessary, modernise industrial relationships, strengthen customer focus, and the effectiveness of interaction with partners and employees, that is, all participants in the transport ecosystem. Thus, there is an obvious relationship between process management and digital transformation processes. Due to their mutual influence, prerequisites are created for formation of a new operating model. However, for its effective development, it is necessary to identify shortcomings and losses in existing processes and effectively implement the capacity of digital transformation. To do this, it is necessary to consider the key methodological gaps that occur in the process of restructuring the process architecture of transport companies, which are especially fundamental in holding-type companies.

The *objective* of the study is to determine the direction of transformation of the process architecture of transport companies.

The main *methods* used in the study are synthesis and decomposition of the conceptual framework, analysis of creation of added value within the processes of a transport company, dynamic modelling of process parameters, analysis of redundant elements and bottlenecks in the business architecture of a transport company.

RESULTS

Business Architecture: Concept and Value

Enterprise Business Architecture (EBA) is an area of management activity that relies on the mission and system of goals of an organisation, critical success factors, business strategies, description of functions, as well as the on structures and processes necessary for implementation of functions. The architecture of business processes is determined by the main

functions of the organisation and may change under the influence of changes in the external environment, as well as because of adaptation to new technologies and products introduced by the company.

«Building a business architecture of an enterprise at the top level implies an analysis of the main functions (chains) of creation of added value (Value Landscape Analysis), Business Scenario Models, analysis of information links and processes (Information Value Chain Analysis)» [1].

The system basis of the enterprise business architecture includes Function / Process Decomposition, Business Event Analysis, Location Model, Integration Model.

Currently, there are various methods for describing the enterprise business architecture. John A. Zachman created an architecture modelling worksheet, recognized as the Zachman Framework¹, which is quite applicable to the analysis and transformation of the process architecture of a transport company [2]. The framework was first proposed in 1987, its second edition appeared in 1992. For ease of description, Zachman proposed the so-called Zachman Framework for Enterprise Architecture. The enterprise ontology is focused on achieving two main goals: on the one hand, to logically decompose the description of the business architecture into separate sections to simplify their formation and perception; on the other hand, to provide an opportunity to consider a holistic architecture from the standpoint of the value of individual business components. The Zachman framework includes descriptive areas:

- Data used [data].
- Processes and functions [function].
- Location of execution of processes [network].
- Participants in the execution of processes [people].
- Controlling events [time].
- Goals and constraints that determine operation of the system [motivation].

Historically, the Zachman model was first created specifically for IT systems and to this day remains an important tool for designing,

¹ Zachman, J. A. The Framework for Enterprise Architecture: Background, Description and Utility by: John A. Zachman. [Electronic resource]: <https://www.zachman.com/resources/ea-articles-reference/327-the-framework-for-enterprise-architecture-background-description-and-utility-by-john-a-zachman>. Last accessed 25.12.2021.

analysing, and transforming business architectures. There are several modifications there-of developed by other researchers.

The TOGAF (The Open Group Architecture Framework) for the description of the architecture has also become widespread. The TOGAF model includes as its main component the Architecture Development Method (ADM), which defines the architecture development process, which consists of several phases:

- Phase A: definition of the boundaries of the project, development of a vision of the architecture; approval of the work plan and of general approach of the management to its implementation.

- Phase B: development of the business architecture of the enterprise.

- Phase C: development of data architecture and application architecture.

- Phase D: development of technological architecture.

- Phase E: verification of feasibility of the implementation of the proposed solutions.

- Phase F: planning of the transition to the new system.

- Phase G: formation of a change management system.

- Phase H: architecture change management.

Principles governing the architecture are fundamentals that are used as «starting points» both for assessing the existing process management system and for developing individual solutions in the field of business digital transformation. The application of the architectural approach allows achieving the following business transformation values: consistency of transformation of both the IT and business models, controllability of changes, development of high-quality documentation on changes in technology, standardisation of operations, taxonomy completeness.

Once architecture models have been created, various analysis methods, based on differentiated methods, can be applied. They can include:

- Analysis of value chains.
- Dynamic modelling.
- Gap-overlap analysis.
- Activity-based costing.
- Analysis of the total cost of ownership of the process.
- Assessment of return on investment.

Such models usually are directly related to the process of generation of the architecture of applications, as it is expected in the approach to

development of the business process model-driven architecture.

Comparison of Business Processes and Digital Transformation Processes

Digital transformation does not refer to individual processes, but to the work of the integral organisation. This is a change in the development strategy, business model (business conduct model), and business architecture, product (service) line and sales channels, corporate culture based on advanced technological solutions and digitalisation. Digitalisation processes are not processes of managing the IT infrastructure of an organisation, but all the processes of an organisation (in the broad sense) that are performed completely automatically, or whose level of automation is more than 80 %. This includes processes for commercialisation of products and services, supporting and managing processes (Table 1).

The most important factor in achieving effectiveness of digital transformations is the elimination of duplication losses in the processing of information flows generated by various information systems.

To eliminate these losses, digital platforms are becoming the preferred and dominant business model for many industries, including the transport sector of the economy. In the transport industry, competition from different modes of transport results in changes in the traditional value chain of transporting goods and passengers. Besides, it becomes more difficult to promote traditional transportation products and services that are not complemented by operations that provide a full cycle of the transportation process using various modes of transport and including insurance, storage, transshipment, and other services. The modern transport market is generating increasingly complex and more expensive operating models. Consequently, many leading companies are shifting from a product orientation to a customer orientation, focusing on providing a differentiated customer service in target markets [4; 5].

Another important factor is changing customer behaviour. When choosing a provider of transport and logistics services, customers are guided by the capabilities of digital platforms. Therefore, transport companies must position themselves as a digital service that is convenient for customers and create an appropriate digital transformation strategy that provides proposals



Table 1

Elements of process models: similarities and differences [compiled by the authors]

No.	Elements	Business processes	Digitalisation processes
1	Sources of information for development of process models	Interviews of employees (performers). Value stream mapping. Technical documentation	Study of the company's IT architecture, documentation on industrial automated systems
2	Notations for graphic description of processes	IDEFO, Cross Functional Flow Chart, EPC (event-driven process chain)	BPMN (business process model and notation), ArchiMate, UML (unified modelling language)
3	Management	Each process has an owner and a process team (workgroup)	Single owner and single team of digital transformation management manage reengineering of a large group of operational processes
4	Documentation	Detailed regulations and instructions for employees on implementation of processes	Terms of reference on digitalisation of processes
5	Company business architecture	Not required, or only fragments	Required at scale of the whole company
6	Information flows	Predominantly paper documents on processes	All information flows are implemented in digital format
7	Quality and efficiency of processes	Achieved through training and motivation of performers (employees), monitoring of implementation of regulations	Achieved through risk management and standardisation of all components of the IT architecture
8	Internal indicators of processes	Determined by using the optimal number of personnel (performers)	The level of automation and the level of information processing of end-to-end processes without duplication
9	Functional cost analysis of processes	Estimated costs for implementation of the process. The main results of the process.	Digital service maintenance costs

for improving customer service and achieving strategic goals.

Digital platforms, by forming partnerships with various companies, create an ecosystem that brings together customers and providers of transport and logistics services, as well as other participants in the transport market. The value of an effective relationship based on a digital platform grows as the number of participants increases.

For a formalised description of business processes and digital transformation processes, it is possible to use standard business modelling tools like Microsoft Visio and Excel, Business Studio, as well as SILA, Russian domestic product. They allow analysing the main (product), supporting and managing processes, as well as reengineering them, redistributing the load between processes and ensuring elimination of redundant, duplicate processes due to digital transformation.

Metrics of Technological Progressiveness of Processes

The development of process architecture and its compliance with the current level of business

and the turbulence of the surrounding digital environment are proposed to be associated with indicators of technological progressiveness of processes. *Technological progressiveness* is proposed to be called the compliance of the process architecture of an enterprise with the main vectors of development of transport systems. In the Russian Federation, these vectors are rightfully determined by such priorities of the Transport Strategy of Russian Federation² as digital transformation of the transport industry and reduction of harmful effects of transport on the environment.

It is proposed to assess the implementation of digital transformation in the processes of transport companies based on the compliance of the digital maturity of processes with the reference level, which can be measured by the following metrics:

- Level of process automation.
- Degree of digital trust.

The simplest way to calculate the level of

² Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, No. 3363-r. [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>. Last accessed 25.12.2021.

process automation is to estimate the number of process operations performed by IT systems in relation to the total number of operations in the process.

A more accurate analysis can be made by developing a rating scale in points to assess deviations of process automation from the target value. For each technology of process implementation, in this case, it is necessary to set the scoring value in the range from «0 points» (the process or subprocess is performed manually) to «5 points» (fully automated execution). The target value in this study is determined at the level of maturity which is equal to «5 points».

If the process consists of N subprocesses, then the average value of the automation level (s_k) of the k -th process is determined by the formula, considering the equal significance of each process:

$$s_k = \frac{1}{N} \sum_i (5 - F_i^k), \quad (1)$$

where F_i^k is the resulting score of the level of automation of the i -th process.

It is by the magnitude of the deviation that it is proposed to evaluate primarily the compliance of the process automation level with the target value

To determine the level of automation, the metric of the ratio of automatically processed information or documents to the total volume of processed information or documents for the period, as well as the ratio of the number of transactions in the process performed fully automatically to the total number of transactions or process instances for the period, can also be used.

The automatic execution of the process may require the intervention of a specialist in case of unformatted input of data from the part of a client, faults in operability of digital services, and other types of operational risks.

One of the most pressing issues related to such digitalisation of processes in development of process architecture is creation of a digital environment of trust, which is expressed in the presence of certain principles, such as data security and protection, and their confidentiality. We can say that it is also expressed in the confidence of users in the security of personal data stored on certain digital platforms [6].

To quantify the level of digital trust, the approach based on deviations from the target level, reflected in formula (1), can also be used. In this case, the target state may be assessed by «5 points» which means full digital trust.



The main measures to ensure trust in digital services are:

- Development of cybersecurity measures to prevent the possibility of hacks of information systems and data transmission channels and various criminal activities.

- Improving the quality of testing of digital platforms and applications.

- Promoting the possibilities of using digital technologies.

- Raising the level of legal culture of customers and providers of transport and logistics services.

- Expanding the possibility of using Internet technologies.

- Development of artificial intelligence systems and digitalisation.

These measures have already being fully applied and have the widest prospects for further development in the activities of transport and logistics companies [7–9].

Environmental and System-Wide Factors

The most important factor influencing the choice of process for transformation, as well as for the very transformation of the process architecture of a transport company, is compliance with the UN sustainable development goals.

Transport and logistics companies in Russia are increasingly involved in implementation of measures to reduce greenhouse gas emissions, as well as expanding the area of assessment of key quantitative indicators of carbon neutrality of cargo transportation³. This aspect has become one of the leading factors in the activities of Russian and foreign transport and logistics companies, the subject of numerous scientific studies [10–13].

³ Environmental memorandum of JSC Russian Railways. [Electronic resource]: <https://cargolk.rzd.ru/eco>. Last accessed 25.12.2021.



BRIEF CONCLUSIONS

The comparison of the elements of business processes and digitalisation processes, allowing to classify the differences between them, does not eliminate the conclusion about the cross-influence of these two types of processes, moreover, it makes it possible to talk about their synergistic effect. Based on this, the study resulted in proposals on introduction into scientific circulation of two metrics for the correspondence of the digital maturity of processes to the reference level (the level of process automation and the degree of digital trust).

A quantitative assessment of all metrics of the technological progressiveness of the processes of the transport and logistics business will make it possible to reasonably approach digital transformations, increase their efficiency and transform the process architecture of transport companies.

REFERENCES

1. Koptelov, A. Principles of enterprise architecture management [*Printsipy upravleniya arkhitekturoi predpriyatiya*]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2010, Iss. 1, pp. 109–116. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13007022>. Last accessed 25.12.2021.
2. Gerber, A. J., le Roux, P., Kearney, C., van der Merwe, A. The Zachman Framework for Enterprise Architecture: An Explanatory IS Theory. In: Hattingh, M., Matthee, M., Smuts, H., Pappas, I., Dwivedi, Y., Mäntymäki, M. (eds). *Responsible Design, Implementation and Use of Information and Communication Technology*. I3E 2020. *Lecture Notes in Computer Science*, 2020, Vol 12066. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44999-5_32.
3. Vizer, A. N., Klovov, S. A. Analysis of modern approaches in the architecture of enterprises [*Analiz sovremennykh podkhodov v arkhitekture predpriyatii*]. *Molodoi ucheniy*, 2021, Iss. 2 (344), pp. 9–12. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/344/77384/>. Last accessed 25.12.2021.
4. Davis, F. D. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 1989, Vol. 13 (3), pp. 319–340. DOI: 10.2307/249008.
5. Grigoriev, M. N., Maksimov, I. A., Uvarov, S. A. Digital platforms as a resource for increasing the competitiveness of supply chains [*Tsifrovie platform kak resurs povysheniya konkurentosposobnosti tsepei postavok*]. *Bulletin of St. Petersburg State University of Economics*, 2017, Iss. 2, pp. 7–11. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32826431>. Last accessed 25.12.2021.
6. Nurmukhametov, R. K., Torin, S. S. Digital trust: essence and measures to improve it [*Tsifrovoe doverie (digital trust): suschnost i mery po ego povysheniyu*]. *Bulletin of Tula State University. Economic and legal sciences*, 2020, Iss. 1, pp. 32–38. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42653346>. Last accessed 25.12.2021.
7. Bubnova, G. V., Lyovin, B. A. Digital logistics – an innovative mechanism for development and effective functioning of transport and logistics systems and complexes [*Tsifrovaya logistika – innovatsionniy mekhanizm razvitiya i effektivnogo funktsionirovaniya transportno-logisticheskikh sistem i kompleksov*]. *International journal of open information technologies*, 2017, Iss. 3, pp. 72–78. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28426696>. Last accessed 23.11.2021.
8. Evseev, O. V., Murashov, V. V., Zaboiev, A. I., Zemtsov, A. A. Transport and economic balance and its role in the coordination of transport planning during the digitalization era. *Modern Information Technologies and IT-Education*, 2018, Vol. 14, No. 3, pp. 717–726. DOI: 10.25559/SITITO.14.201803.717-726. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37031853>. Last accessed 23.11.2021.
9. Sokolov, Yu. I., Efimova, O. V., Lavrov, I. M. Economic rationale for creating an integrated information space for the interaction of transport companies and clients: Monograph [*Ekonomicheskoe obosnovanie sozdaniya integrirovannogo informatsionnogo prostranstva vzaimodeistviya transportnykh kompanii i klientov: Monografiya*]. Moscow, RUT (MIIT), 2019, 100 p. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37001986>. Accessed 17.10.2021.
10. Dong, C., Boute, R., McKinnon, A., Verelst, M. Investigating synchromodality from a supply chain perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, Vol. 61, Part A, pp. 42–57. DOI: [doi: 10.1016/j.trd.2017.05.011](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.011).
11. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. 3rd ed. Ed. by A. McKinnon, M. Browne, A. Whiteing, M. Piecyk. Kogan Page Limited, 2015, 426 p. [Electronic resource]: https://books.google.ru/books?id=E9BuBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbgbs_atb#v=onepage&q&f=false. Last accessed 25.12.2021.
12. Kumar, A. Green Logistics for sustainable development: an analytical review. *IOSRD International Journal of Business*, 2015, Vol. 1, Iss. 1, pp. 7–13. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/330422673_Green_Logistics_for_sustainable_development_an_analytical_review. Last accessed 22.12.2021.
13. Osintsev, N. A. Multi-Criteria Decision-Making Methods in «Green» Logistics. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 5, pp. 105–114. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>. ●

Information about the authors:

Efimova, Olga V., D.Sc. (Economics), Professor at the Department of Economics, Production Engineering and Management, Deputy Director for science of the Institute of Economics and Finance, MBA program manager of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ovefimova@mail.ru.

Pinchuk, Sergey S., Head of the Planning and financial direction of Russian University of Transport, Moscow, Russia, s.s.pinchuk@miit.ru.

Article received 24.11.2021, approved after reviewing 17.01.2022, accepted 20.01.2022.

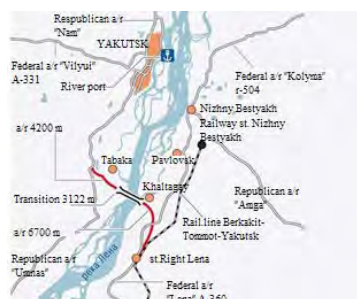


ARTIFICIAL INTELLIGENCE 208

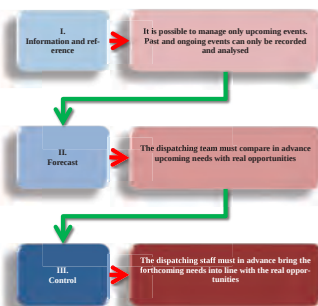
Engineering and educational components of promising application of AI in the transport industry. Evaluation and choice of best training methods.

ROADWAY 214

Discussion on procedure to calculate load on road and detailed proposals regarding infrastructure project implemented in Yakutsk.

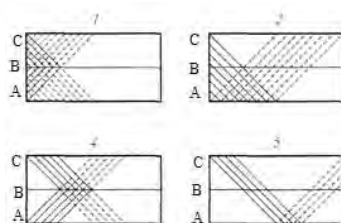


ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL



TRAIN FORMATION 227

The relevance of the problem requires new discussion. The first part of the article is devoted to analysis of different aspects of practices of train formation planning and to generalisation of possible suggestions on optimal organisation of train formation.





REVIEW ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>World of Transport and Transportation, 2022,
Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 208–213

Application of Artificial Intelligence in Transport Construction: Engineering and Educational Aspects



Boris A. LYOVIN



Alexander A. PISKUNOV



Vladimir Yu. POLIAKOV



Alexander V. SAVIN

Boris A. Lyovin¹, Alexander A. Piskunov², Vladimir Yu. Poliakov³, Alexander V. Savin⁴

^{1, 2, 3, 4} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

³ pvy55@mail.ru.

ABSTRACT

The article generalises the results of the authors' research, both published and prepared for publication, referring to discussion on the current situation in terms of development of artificial intelligence perception and apprehension, and analyses a possibility of application of currently existing AI in design of transport infrastructure facilities and engineering education.

General methodology and algorithm of application of artificial intelligence intended for design of transport infrastructure facilities are described considering synthesis of structures with pre-set behavioural parameters.

Introduction of AI-related competences and skills into educational process intended for training future transport employees is shown in relationship with engineering tasks solved by the users followed by examples of problems solved by the students with the help of artificial intelligence technology.

The possibilities of an interdisciplinary approach to training are shown to demonstrate how the students are taught to apprehend the need for a comprehensive consideration of design problems.

Experimental learning has shown the feasibility and effectiveness of the use of AI by students when solving educational and practical problems.

Keywords: artificial intelligence, engineering education, transport, transport education, interdisciplinary approach, decision support methods.

For citation: Lyovin, B. A., Piskunov, A. A., Poliakov, B. Yu., Savin, A. V. Application of Artificial Intelligence in Transport Construction: Engineering and Educational Aspects. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 208–213. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

Despite the actual successes achieved and the many practical projects being implemented in the transport industry, the practical application of artificial intelligence (AI) methods in engineering is at the initial stage from a historical point of view, primarily if assessed based on the degree of realisation of its potential.

Currently, AI is being applied in many sectors of economy. Its application is widespread in transport, e.g., to manage road traffic and parking lots of large cities, process data referring to the users of toll roads, to implement integrated logistics processes. Besides, AI is of particular significance in the design of complex technical systems since the success there-of is defined to a large extent by application of decision support methods [1], necessary *inter alios* to analyse Big Data, solve interdisciplinary and other high complexity problems.

Today, it is accepted to differentiate the so-called artificial general intelligence (AGI) and the narrow artificial intelligence (narrow AI) [2]. AGI with human-like thought processes, according to a survey of AI experts [3], is unlikely to emerge in the next 75–100 years, although many doubt its emergence at all. The reason for scepticism lies with the fundamental impossibility of reproducing mental processes (thinking) on computers [4]. Mentality involves operations not with formal symbols devoid of specific content, but with concepts and meanings. Therefore, the lack of consciousness in AI at the present stage makes AGI so far, an unattainable goal.

The narrow AI that exists today [5] can solve rather complex problems in a highly specialised area [6]. Such an AI is not general, it cannot solve, like a human, various tasks that life itself sets, to solve production-related problems, drive a car, make choices in a store, etc.

At the same time, progress towards the adoption of AI technologies in the economy, including in transport, should be ensured by training of specialists with competencies and skills in development, implementation, and application of AI technology. Obviously, the current goal of higher engineering education is to apply the methodology of narrow AI, the task of which is to reproduce purposeful actions carried out by a human with the help of computer systems.

It should be noted that as cognitive tool, AI is widely used in various fields of science:

decision theory [2], system optimisation [1], Big Data processing and machine learning [7; 8], fuzzy logic [9], and genetic algorithms [10].

The *objective* of the work is to confirm the hypothesis about the possibility of implementing an interdisciplinary approach to teaching, which allows demonstrating to students the need for a comprehensive consideration of design problems.

RESULTS

The Problem of Application of AI in the Design of Training Content

What should students be taught today within the academic subject related to artificial intelligence? It seems that the goal of learning is to acquire competences and skills allowing to apply AI methodology in tasks whose solution is beyond the capacity of human intellect. At the same time, it is important that the future engineer should apply knowledge and skills already mastered during the learning within his specialty, using a decision support system, which today belongs rather to narrow AI. And the narrow AI, unable to solve a problem from beginning to end, from formulation of a problem to release of project documentation, suits well this objective. The exact sciences have cumulated a huge amount of knowledge in the form of laws, represented by mathematical expressions in a closed form, therefore it is possible to create decision support systems based on the laws of nature.

The key thesis regarding learning in AI within higher engineering education, namely transport focused education, refers to integration of a human into the control loop of a complex system in which AI will be an effective decision support subsystem, identifying non-obvious dependencies and therefore assisting students to make conceptual decisions in a specific subject area. Thus, the student acquires the skills of interacting with AI. The purpose of the academic subject turns to teach the methodology and application of AI, the task of which is to reproduce, with the help of computer systems, purposeful actions carried out by a person who is aware of the laws of nature.

The methodology developed at Russian University of Transport for designing transport infrastructure facilities using AI allows solving many of the complex engineering problems. Today, the choice of a shape of the structure, of its initial parameters is carried out based on existing experience. Codes of practice almost do



not give recommendations on specification of technical parameters, but only contain methods for checking already designed/built structures. That is, these are not design standards, but standards for checking the respect of previously assigned parameters. As soon as a person faces a previously unknown task, lack of experience can lead to serious mistakes.

Lack of experience in construction of high-speed rail (HSR) is a problem in Russia. There is no experience in building a whole class of tunnels in world practice, and trial design will face here great difficulties. Finally, students lack design experience. It is so necessary to adopt the approach based on the synthesis of a structure with pre-set parameters of structural behaviour that meets the standards and prevents, in a certain sense, adverse events [11]. In this case, it is not a verification of the decision made regarding its compliance with regulatory documents, but rather the design (synthesis) of the structure in new conditions, for example, of high-speed traffic.

It is AI that can support a person in assigning design parameters. The participation of AI becomes critical in above specified case of absence of design experience in new conditions.

Finally, the use of AI will be very productive in operation of structures. In this case, constant remote monitoring of the structure will generate a huge amount of information (Big Data). It is quite difficult and often impossible for a person to track and correctly interpret changes in the state of a structure, identify risks at the initial stage and prevent negative consequences.

According to generally accepted algorithm, the design process starts with initial assignment of design parameters, which are changed in space by control functions. Initially, these functions can be set as arbitrary and constant ones. As stated previously, a transition to the state space, occurs with the help of a mathematical model of the system's behaviour over time [12]. There the behaviour of the system is described, and then, using the criteria, the quality of the decision made is assessed in the space of estimates [13]. If there is a possibility to further improve the quality and/or in case of not-respect of predetermined constraints on the behaviour of the system, the control functions are corrected, and the procedure is repeated.

It is worth to note features previously highlighted in [1; 12; 13]. In the algorithm described above, AI manifests itself in several

fragments [1]. First, evaluation of the construction quality does not directly follow from the description of the system; a complex mathematical model is involved between these stages. In the described case, this is a system of ordinary differential equations and partial differential equations [12]. In addition, assessment is mediated by quality functionals (criteria) in the form of double integrals [13]. The analysis of trends in the behaviour of the system and sensitivity of this behaviour to changes in control (in design parameters) cannot be comprehended by human intelligence, since it requires orientation in a multidimensional state space, which describes the behaviour of systems under different conditions. The description of the state of the system must be recorded at extremely short time intervals. This process generates an array of Big Data, the identification of patterns in which has turned now to become the traditional prerogative of AI. Since the directions of changes, mediated by fairly complex relationships and operations, are not obvious, the choice of the direction of changing the control (design parameters) in the assessment space to improve the performance of the system and respect the pre-set constraints on interaction is also beyond the control of a person.

It is also obviously that many issues should be solved on the basis of an interdisciplinary approach, in a comprehensive manner, because of the interaction between the components of a complex system considered in the framework of different disciplines.

This determines, among other things, the vector of development of competencies in the field of AI of today's and future employees of the transport sector.

Results of Experimental Learning

Russian University of Transport has developed a training program in the academic subject of Artificial Intelligence in transport construction for the specialty, code 23.05.06 entitled «Construction of railways, bridges, and transport tunnels». Its adoption had been preceded by experimental test of application of AI in the process of design assignments within the framework of preparing students' term papers and graduation theses.

Let us consider the process of teaching RUT students to interact with AI. Typically, the student assigns the parameters of a traditional and well-known design based on building experience

Table 1

Main parameters of steel reinforced concrete superstructure [11]

Superstructure parameters	Prototype	AI recommendations
Total weight of the superstructure, t	1985	1729
Steel beam, t	240	195
Reinforced concrete slab, t	812	621
Flexural stiffness, MN•m ²	11,2•10 ⁵	6,45•10 ⁵
Maximum deflection under a high-speed train, mm	5,5	7,1
Maximum dynamic moment, MN•m	20,02	20,12



described in textbooks. The resulting design turns to be far from optimal due to numerous checks of design regarding its compliance with the standards and following numerous amendments. In addition, the student, in accordance with the norms, accepts a load model that does not reflect the actual interaction, for example, in such a complex system as «bridge–track–train».

On the contrary, with the help of AI which in that case serves as decision support system, the student can get an idea of the real interaction in a multicomponent system. Thus, the student acquires a new competence which is a systematic vision of engineering activity. That presumes conscious comprehension of its integrity, multidimensionality, phasing, interdisciplinary relationships.

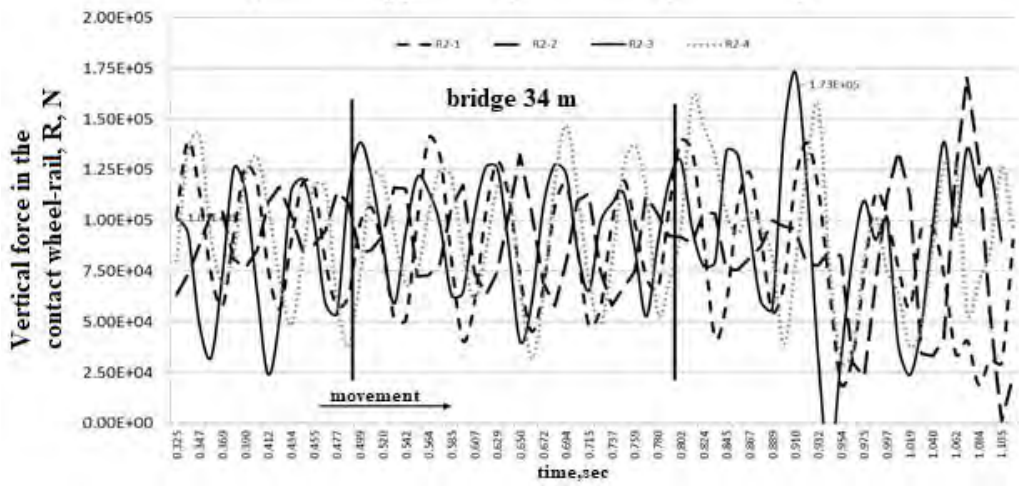
Here-after, are some examples of application of AI in the learning process (examples in more detail are described in several papers, e.g., [14]).

In practice, after a professor, using the AI software package, has issued recommendations on changing the design parameters of the length of the railway bridge beam, a student (in the described case a student obtaining qualification within the specialty «Bridges») starts making design decisions. Since the design can be optimised according to several criteria

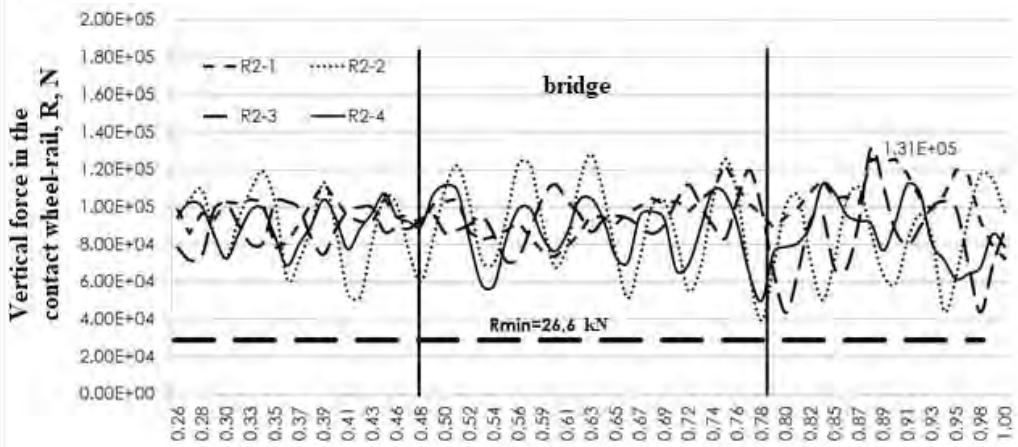
simultaneously [15], a criterion of minimum beam mass is chosen for simplicity of presentation. Optimisation is accomplished with strict respect of technological constraints regarding design parameters, constraints limiting beam deformations, vertical acceleration in the car, etc. At this stage students acquire also new competences generated through an interdisciplinary aspect and evaluation of design solutions according to several criteria, since the dynamic behaviour of the bridge and car structure is studied not only within different specialties, but also in different areas of training (23.00.00 «Technique and technology of land transport» and 08.00.00 «Technique and technology of construction»).

In the example under consideration, besides the requirement to minimise the mass of the structure, the requirement was put forward to maintain the maximum dynamic bending moment from a high-speed train, which was performed with acceptable accuracy. It was decided to implement into design control functions that give the minimum to the quality functional (total mass of the span) by reducing the thickness of the reinforced concrete slab of the roadway and the overall height of the steel beam. The results of the work are shown in Table 1. At the same time, all





Pic. 1. The force in the contact area of the wheel and the rail for the second car at a speed of 350 km/h. After the passage of the bridge, there is a lift of the wheel.



Pic. 2. The force in the contact area of the wheel and the rail after track design with the AI decision support system does not fall below the minimum allowable value of 26,6 kN.

checks according to the code of rules were completed with success. Despite the increase in deflection to 7,1 mm, it does not exceed the limits established by the standards.

Another student was working on a project of a reinforced concrete superstructure for high-speed railway, pursuing during the optimisation process the goal of reducing material consumption. In this case, the AI recommended a beam with inhomogeneous properties, since during the optimisation process, the beam deflection exceeded the allowable limit. The student made a decision to change the height of the beam and the thickness of the wall to fulfil the recommendations of AI. Reinforced concrete savings in comparison with the prototype (real project) amounted to 58 m³.

For students with the learning profile dedicated to control of the technical condition of the railway track, a different system of criteria is used, corresponding to the tasks assigned to the bridge deck and the superstructure of the track. An AI-based decision support system proposed the optimal distribution of railway track stiffness, which ensures minimal impact on crushed stone ballast and is as uniform as possible to reduce track deterioration along its length. At the same time, a constraint was formulated to ensure continuous movement of the wheel along the rail to prevent derailment as a safety requirement (e.g., [16]). Pic. 1 shows diagrams of the vertical force in the contact of the wheels and the rail of one of the cars of a high-speed train. After the passage of the bridge, due to vibrations of the beam, rail and cars,

the lift of the wheel occurs which is unacceptable. AI offered a control function on which the rigidity of the track depends. Based on this function, it is possible to select the stiffness of the spacers in the intermediate rail fastening in accordance with the AI recommendations using a piecewise linear approximation of the function. As a result, the average sleeper load was reduced by 17 %, local ballast overloads were reduced by almost two times, and most importantly, the safety constraint was met. The force in contact area for the entire time of passage through the bridge not only does not show the lift of the wheel, but also does not fall below the minimum required to ensure traffic safety (Pic. 2).

The given examples clearly show the role of AI in recommending non-obvious patterns due to a complex interaction process and multi-stage computational procedures.

SHORT CONCLUSION

Based on the results provided, it can be stated that AI is a highly demanded tool for designing new structures or known structures under new conditions, as well as for teaching students at technical universities. Experimental learning has shown the feasibility and effectiveness of the application of AI, also by students. A course for teaching students to apply use of AI in practical design activities has been developed.

REFERENCES

1. Poliakov, V. The artificial intelligence and design of multibody systems with predicted dynamic behavior. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14. DOI: 10.46300/9106.2020.14.124.
2. Broussard, M. Artificial intelligence: The limits of the possible. Trans. from English by E. Arie. Moscow, Alpina non-fiction, 2019, 362 p. ISBN 978-5-00139-080-0.
3. Bostrom, N. Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies. Oxford University Press, 2014. 328 p.
4. Dreyfus, H. What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason. *MIT Press*, 1992, 408 p. DOI: 10.2307/1575958.
5. Jajal, T. D. Distinguishing between Narrow AI, General AI and Super AI. May 21, 2018. [Electronic resource]: <https://medium.com/mapping-out-2050/distinguishing-between-narrow-ai-general-ai-and-super-ai-a4bc44172e22>. Last accessed 23.01.2022.
6. Oremus, W. Terrifyingly Convenient. *Slate*, April 3, 2016. [Electronic resource]: http://www.slate.com/articles/technology/cover_story/2016/04/alexa_cortana_and_siri_

aren_t_novelties_anymore_they_re_our_terrifyingly.html?via=gdpr-consent. Last accessed 23.01.2022.

7. Duan, Xinhua. Application of Deep Learning in Power Load Analysis. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 726–735. DOI:10.46300/9106.2020.14.92.

8. Huang, Wei. Power system Frequency Prediction after Disturbance Based on Deep Learning. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 716–725. DOI: 10.46300/9106.2020.14.91.

9. Zhu, Xiaoyong; Zhang, Hua. A Lean Green Implementation Evaluation Method Based on Fuzzy Analytic Net Process and Fuzzy Complex Proportional Assessment. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 646–655. DOI: 10.46300/9106.2020.14.83.

10. Ye, Tingting. Research on the Risk Crisis Prediction of Enterprise Finance by Genetic Algorithm. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2018, Vol. 12, pp. 319–324. [Electronic resource]: <https://www.naun.org/main/NAUN/circuitssystemssignal/2018/a922005-aes.pdf>. Last accessed 23.01.2022.

11. Poliakov, V. Y., Saurin, V. V. Optimization of a composite beam for high-speed railroads. *Steel and Composite Structures*, 2020, Vol. 37, Iss. 4, pp. 493–501. DOI: 10.12989/scs.2020.37.4.493.

12. Poliakov, V. Yu. Numerical modelling of interaction of rolling stock with bridge structures during high-speed traffic [*Chislennoe modelirovaniye vzaimodeystviya pri vysokoskorostnom dvizhenii*]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2016, Iss. 2, pp. 54–60. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26700903>. Last accessed 23.01.2022.

13. Poliakov, V. Yu. Synthesis of optimal span structures for a high-speed railway [*Sintez optimalnykh proletnykh stroenii dlya vysokoskorostnoi magistrali*]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2016, Iss. 3, pp. 35–42. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26135687>. Last accessed 23.01.2022.

14. Poliakov, V. Optimization Facilities for Bridges and Track on High Speed Railways. *Ingegneria Ferroviaria*, 2018, Vol. 73, No. 3, pp. 191–205. [Electronic resource (full text on demand)]: https://www.researchgate.net/publication/324924888_Optimization_facilities_for_bridges_and_track_on_high_speed_railways.

15. Poliakov, V. Yu. Pareto-optimal span structures for high-speed railways [*Pareto-optimalnye proletnye stroeniya dlya vysokoskorostnykh magistralей*]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2016, Iss. 6, pp. 21–24. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir-Poliakov/publication/320980367_Pareto-optimalnye_proletnye_stroeniya_dla_vysokoskorostnykh_magistralей/links/5a2eda7d4585155b6179f881/Pareto-optimalnye-proletnye-stroeniya-dla-vysokoskorostnykh-magistralей. Last accessed 27.05.2021.

16. Poliakov, V. Yu. Optimization of bridge transition zones on high-speed railways. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 5, pp. 54–67. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1301>. Last accessed 27.05.2021.

17. Lyovin, B. A., Piskunov, A. A., Poliakov, V. Yu., Savin, A. V. Artificial intelligence in engineering education. *Higher Education in Russia* [manuscript in preparation]. ●

Information about the authors:

Loyvin, Boris A., D.Sc. (Eng), Professor, President of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Lyevin@miit.ru.
Piskunov, Alexander A., D.Sc. (Eng), Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, a.piskunov52@mail.ru.
Poliakov, Vladimir Yu., D.Sc. (Eng), Associate Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, py55@mail.ru.
Savin, Alexander V., D.Sc. (Eng), Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, a.v.savin@miit.ru.

Article received 08.12.2021, revised 23.01.2022, approved after reviewing 04.02.2022, accepted 11.02.2022.





A New Procedure to Calculate the Load on the Roadway



Vladimir Yu. Pankov

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia.

✉ pankov1956@inbox.ru.

Vladimir Yu. PANKOV

ABSTRACT

Presence of a developed transport and logistics system that provides year-round cargo and passenger transportation constitutes a necessary condition for intensive socio-economic development of any region.

The only type of continuum transport capable of providing year-round transportation in natural and climatic conditions of the cryolithic zone, an integral part of which is the territory of the Arctic zone of the Russian Federation, is road transport. This is due to its compactness, mobility, ease of control and maintenance, as well as to a relatively low price, both for a single vehicle and for transportation services, which in turn predetermines its use for regional and intracity transportation within the permafrost zone.

The only condition for effective use of road transport is provision of territories with year-round operated public roads, while their design and structure should correspond to the predicted load from vehicles and intensity of the traffic flow.

The Government of the Russian Federation adopted the decision to build an automobile bridge across the Lena River near Yakutsk, which is scheduled to be put into operation in 2024. Accordingly, the problem of assessing the state of the city's road

network in terms of the possibility to process future traffic flows and road traffic organisation considering the design features of city roads, becomes relevant.

Calculations of basic parameters of promising cargo and passenger flows were carried out with a new author's methodology. An extended model served a basis for predictive assessment of the growth in relative intensity of transport flows and loads on the roads of Yakutsk after commissioning of the bridge across the Lena River. A variety of transport and logistics schemes for organising road traffic were considered. The condition and design features of the roads on the selected routes were assessed, and their transit capacity and maximum loads from transport flows that their structure could withstand were calculated.

It has been established that the road infrastructure of Tuymaada valley is not able to ensure the transit of promising cargo flows that will arrive to the left bank of the Lena River across the bridge.

It has been proved that the only possible solution to the vast majority of the emerging problems related to cargo traffic is construction of a federal ring road, which runs mainly outside the valley of the Lena River.

Keywords: cryolithic zone, permafrost zone, Tuymaada valley, Yakutsk, urban street and road network, bridge, cargo transportation, traffic intensity, roadway load, transport systems, road traffic organisation.

For citation: Pankov, V. Yu. A New Procedure to Calculate the Load on the Roadway. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 214–226. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-10>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Problem Statement

A prerequisite for intensive socio-economic development of any region is the presence of a developed transport and logistics system, providing unhindered exchange between neighbouring territories with necessary goods, materials, resources, producer goods, and workforce. For administrative units (states, regions, districts), which occupy large areas and are characterised by complex climatic conditions, transportation routes constitute the most important components of transport and logistics systems. In the process of development of human civilisation, three types of technical transport systems were developed for socially significant cargo-passenger transportations for long distances, which are air, water, and land transportation systems. Each of these modes requires construction of specific transportation routes, have their own structure and engineering and technical features that are formed, first, as a function of volume and composition of the transported cargo, the technical configuration of transport systems, the natural and climatic conditions, as well as the socio-economic condition of the territory. Depending on these factors, the optimal transport and logistics scheme is being developed, which involves the most efficient use at least in the economic aspect, of certain varieties of vehicles.

By virtue of the historically formed structure of the global transport network, no mode of transport can provide on a global scale a full cycle of transportation of socially significant volumes of cargo, from the point of departure to the destination and, moreover, from the manufacturer to the consumer. The global movement of significant cargo volumes is always associated with the use of a minimum of two types of transport systems, two types of loading and unloading systems (except container shipping) and two specialised infrastructure systems of transportation routes. The most commonly used vehicle pairs are well-known: air–road, rail–road, water–road, road–road. Mandatory presence of road transport in any transport chain is associated with its compactness, mobility, simplicity in control and maintenance, as well as with a relatively low price, both on a single vehicle and transport services. These features predetermine the non-alternativeness of road transport for cargo intracity transportation. On the other hand, they also provide for its attractiveness for use in interregional transportation of small batches of

goods of specific configuration or composition. The only condition for the efficient use of road transport is the availability of roads within a territory, while the roads should correspond by their design to estimated load from vehicles and intensity of the transport flow.

These approaches acquire real practical importance in implementation of large infrastructure projects and require development of an appropriate methodology and procedures. This is especially true under complex physio-geographical and climatic conditions. In this regard, a characteristic example is a comprehensive project to improve the connectivity of the transport network of the Republic of Sakha (Yakutia) with a federal road network.

At the end of 2019, the Government of the Russian Federation adopted the decision to build a road bridge across the Lena River in the immediate vicinity of the city of Yalutsk, capital of the Republic of Sakha (Yakutia). The bridge is scheduled to be put into service in 2024. Its construction will lead to significant changes in the transport and logistics system of the Asian part of the Russian Federation. However, by virtue of the physio-geographical position and features of urban planning in extreme climatic conditions, these changes, from operational aspects, will be fundamental only for the road-transport network of the river valley of Tuymaada, including the city of Yakutsk, through which roads of the federal, regional, and municipal importance pass. In connection with implementation of this project, it is necessary on an example of an extended model to carry out a general analysis of the capacity of the road system of the Yakutsk city agglomeration and the adjacent territories regarding redistribution and transit of goods after commissioning of the bridge across the Lena River, to identify its prospective transit capacity (traffic intensity) and stability of structural elements of roads under the influence of the load from wheels of cars on road pavement.

The systematic study of the road infrastructure of Tuymaada valley in terms of growth in traffic intensity and loads has not been carried out. The issue of traffic intensity was considered as a secondary one in the study of the possibility of using intelligent transport systems on certain sections of the roads of Yakutsk [1]. Problems of design, physio-mechanical properties, engineering and geological processes in the soils of the road embankment, as well as behaviour at low temperatures of materials of road pavement of the



roads of cryolithic zones were discussed in a number of works [2–14].

The problem of stability of structural elements of roads in permafrost zone under the influence of loads is not considered widely in scientific sources. A similar situation has developed with scientific research on the influence of the load on the roads in more favourable climatic conditions of the so-called second-fifth road-climatic zones. It is possible to assume that the interest of the scientific community in the overall analysis of the impact of the load from vehicles on the road pavement is affected to a certain extent by constraints, which are imposed by the existing regulatory framework of the road construction industry.

In the Russian Federation, calculation of the standard load on road pavement is regulated by GOST 52748-2007 «National Standard of the Russian Federation. Automobile roads of the general using. Standard loads, loading systems and clearance approaches»^{1, 2}. The analysis of basic provisions of this standard reveals, in the author's opinion, some formalisation, and to a certain extent, even inconsistency with the realities of cargo-passenger transportation and well-known physical knowledge. Parameters, stipulated on the standard, are in some part unacceptable for design and survey, construction, operational work, and, moreover, for building models and implementation of forecast estimates of cargo-passenger transportation. For example, the formula for calculating the load from passenger cars («AK load») developed on the basis of the «model chassis» with the following parameters: pressure of one axis (for the roads of category IV) is 10,2 tons (with gravitational acceleration $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) with a width of one wheel of 60 centimetres. Among vehicles there are no passenger cars with a weight of 20,4 tons (!). Each wheel of such a car has a load on the roadway of about 510 kilograms (5 kN). That is, all four wheels have a load of 2040 kilograms. The discrepancy between weight parameters of the model chassis and its weight load on road pavement indicates a possible incorrectness of calculations during the development of the document, which were implemented into basic parameters of the regulatory document. The

standard weight of the cargo truck («NK load») according to the parameters of the same regulatory document is about 73,5 tons.

Revealed imperfection of the regulatory framework of the road construction industry in terms of the definition of loads predetermines, in the author's opinion, the need to develop a new single load calculation procedure that will allow to use the calculated data for any kind or types of road vehicles, for all classed and categories of roads. The resulting data should be adapted to a variety of transport and logistics concepts and to regulatory documentation, which will allow to build forecast models, including mathematical ones.

The main *task* of the paper is to develop a forecast estimation of the growth in traffic intensity and loads on the roads, which will be formed within the Yakutsk city district after the construction of the bridge across the Lena River.

For implementation of the calculations, it is necessary to develop an extended model of cargo-passenger transportation, which takes into account natural-climatic, engineering and geological conditions, as well as the features of the road infrastructure of Tuymaada valley, where the capital of the Republic of Sakha (Yakutia) is located.

Characteristic of the District and its Road Infrastructure

Geographically, the district is located in the southwestern part of the Central Yakut plain. Relief is plain, of erosion-accumulative type.

Yakutsk city district is located in Central Yakutia on the left bank of the Lena River. The morphology of the district is determined by its confinedness to the Tuymaada river valley (tract). From the north the valley is limited by Kangalassky Cape, and from the south by Tabaginsky Cape. The length of the valley is about 80 km. Area is of more than 300 sq. km.

The valley, with the exception for modern anthropogenic load, has been formed in the process of erosion-accumulative activities of the Lena River. It is the plain that slopes in the northern direction. River terraces are weakly marked, mainly due to intensive technogenic landscape transformation. The relief of the area is homogeneous and is formed by erosion accumulative, somewhere denudation processes, typical for river valleys of lowland rivers. Numerous oxbow lakes are found, somewhere they dry up or are overgrown in the summer, also

¹ GOST 52748-2007 «Automobile roads of the general using. Standard loads, loading systems and clearance approaches» [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497>. Last accessed 22.08.2021.

² English title is quoted as in the document. – *Translator's note*.

there are small frost-thaw lakes. Wetland is rare. Absolute elevation of the terrain that has not been subject to anthropogenic effects goes from 85 m to 101 m³.

The climate is sharply continental with pronounced anticyclonal weather conditions, a sharp change of seasons, high insolation in a summer period, hot summer, very frosty dry cloudless winter. Winter continues for 204–215 days. Minimum winter temperature is 56–58°C below zero. Summer maxima is of 38–39°C above zero. The average annual temperature 9,1°C below zero. As for environmental and climatic conditions, the area refers to the northern construction and climatic zone with the most severe conditions, to climatic subsection IA⁴.

Upper-quaternary deposits of Tuymaada valley are represented by two alluvial lower terraces of the Lena River: Sanggyataya and Yakutsk terraces [15]. All sediments of the area under study are in the frozen state. In the hydrological terms, they relate to alluvial sediments of the Khatasian depression of the Lena River cryoartesian basin [16; 17]. Depth of permafrost soils in Tuymaada valley is 350–400 m. According to the disparate data of the design and survey works, the depth of the seasonal thawing layer is within 3,3–4,2 m in areas not subjected to anthropogenic effects. According to field expedition observations the depth of the seasonal thawing layer within the boundaries of urban development is in the range of 6,0–9,0 m.

Within the administrative boundaries of the city of Yakutsk, there are numerous lakes, streams, as well as Shestakovka river. As long-term hydrological observations show, the levels of their water surface in the summer period are not subject to significant decrease, which indicates a high watering of the soils of the city territory. This is confirmed by the few data of laboratory studies of the physio-mechanical properties of soils. It has been established that the moisture content of most studied soils of the roadbed of the city roads of urban roads exceeds the value of humidity at the liquid limit. In addition, in certain sections of the roads laid within the first river terrace, the buried channels or branches of the Lena River are found, in which even in winter the current is preserved. Thus, it can be argued that the road infrastructure

of Yakutsk is formed mostly on the soils of the first subzone of the first road-climatic zone, for which there are no regulatory construction documents. Consequently, construction, operation, repair and reconstruction of urban roads and highways is carried out in accordance with the regulatory requirements developed for the second subzone of the first road-climatic zone, which repeatedly reduces stability of their structural elements and causes an accelerated deformation process of the roadbed and destruction of road pavement [5–8].

Besides Yakutsk city district, the village Zhatai is another most significant, within the framework of the topic under discussion, settlement of the Tuymaada valley, it is an independent administrative unit. It is located 17 km north of the capital.

According to the data of 2021, the population of Yakutsk was 330615 people, and population of Zhatai⁵ was 10511 people.

The largest industrial facilities of the Tuymaada valley comprise Yakutsk airport, Yakutsk house-building integrated plant, Yakutsk river port, Yakutsk plant of building materials and structures, Yakutsk factory of reinforced concrete products, two thermal power plants, Yakutsk petroleum storage depot (Zhatai village), Zhatai shipbuilding plant, «Kangalassy» territory of rapid socio-economic development.

The bank of the Lena River, opposite to the city of Yakutsk, hosts several settlements, the most significant of which, in the transport and logistics plan, is the village of Nizhny Bestyakh⁶, with a population of 4387 people (according to 2021 data). Its significance is explained by the fact that the village is the final destination point of the Berkakit–Tommot–Yakutsk railway connecting the Southern and Central Yakutia. The village and its surroundings host Nizhnebestyakhsky transport and logistics centre intended for year-round processing of goods coming by rail (Pic. 1).

The Tuymaada valley with adjacent right-bank territories forms the basis of the so-called Yakutsk transport and logistics node: the most important infrastructure transport facility of Central Yakutia. This is due to the following factors:

1. The city of Yakutsk is located on the left bank of the most important water transport artery of Yakutia which is the Lena River.

³ Topographic map, scale 1:200 000. Open access source.

⁴ SP [Construction rules] 131.13330.2018 «SNIP 23-01-99* Construction climatology». [Electronic resource]: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/d4f/SP-131.pdf>. Last accessed 22.08.2021.

⁵ Respectively, website «города-россия.рф»: gorodarus.ru/zhataj.html.

⁶ [Electronic resource]: bdex.ru/naselenie/respublika-saha...megino...bestyah/. Last accessed 22.08.2021.





Pic. 1. Plan of the district (without Zhatai village) with the design position of the bridge over Lena River. [Electronic resource]: https://icdn.lenta.ru/images/2019/11/29/14/20191129142456692/preview_df519b35497e2cba89f41562385e4511/. Last accessed 22.08.2021.

2. Tuymaada valley is a transit area through which the city of Yakutsk is connected to the Federal Automobile Road (FAD) A-331 «Vilyui» (Tulun, Irkutsk region–Yakutsk, 3000 km long), the Republican Automobile Road «UMNAS» (Yakutsk–Pokrovsk–Olekminsk–Daban–Chapayevo–Turukta–Lensk, 1216 km long), Republican roads «Nam» (Yakutsk–Namtsy–Bulus, 160 km long).

3. Nizhny Bestyakh (on the right bank of the Lena River) is the point of docking of FADA-360 «Lena» (Never–Yakutsk, 1157 km long), FAD R-504 «Kolyma» (Magadan–Yakutsk, 2021 km long), Republican Automobile Road «Amga» (Nizhny Bestyakh–Amga–Ust-Maya–Eldican–Yugorenok, 702 km long) and the railway Berkakit–Tommot–Yakutsk (nearly 900 km long).

Despite the formal designation of Yakutsk as one of the final points of FAD «Lena» and «Kolyma», the roads do not reach the city. They end on the right bank of the Lena River. Transportation of goods to the right shore is carried out in summer with the help of ferries, and in the winter through ice crossing. At the same time, in the offseason periods (ice motion, ice formation) transportation of significant volumes of goods through the Lena River ceases. The duration of interruption for trucks weighing more than 20 tons can be up to three or more months.

According to the currently operating transport and logistics scheme, the overwhelming part of goods entering the Tuymaada valley for ferry and ice crossing, as well as Yakutsk river port, is transported by road through the city street network. The main destination points are warehouses, the main of which are located on the

southern and western outskirts of the city of Yakutsk. A significant part of goods transit through the capital to FAD A-331 «Vilyui» (Pic. 1). The only exception is fuel and lubricants. They are transported to Yakutsk solely in a summer period by river bulk vessels. Unloading of fuel and lubricants, intended for Central Yakutia, is carried out directly from ships at the terminal of Yakutsk petroleum storage depot in Zhatai village. Only fuel and lubricants intended for the districts and uluses of the left bank of the Lena River transit through Yakutsk to FAD A-331 «Vilyui».

Mass cargo transportation in Yakutsk transport and logistics node is carried out exclusively through the territory of the city district and by city roads. At the same time, the transport network of the city of Yakutsk has only a few roads through which, according to the current standards listed in SNiP 02.07.01-89 «Urban planning»⁷, heavy trucks can move. These roads include the route passing through the city from the East (hereinafter the Eastern City Corridor, ECC) along the above floodplain river terrace (second floodplain): Novoportovskoye Highway–Chernyshevskogo str.–Khabarova str.–Bogdana Chizhika str.–50 let Sovetskoi Armii str. – Vasilieva str. – Nam RAD. On the western outskirts (hereinafter referred to as the Western City Corridor, WCC) there are several scattered roads, allowing cargo transportation in the submeridional direction: Avtodorozhnaya str.–Krasilnikova str.–Lermontova str.–Keshi Alekseeva str.–Chaikovskogo str.–Vinokurova str.–Vilyuiskiy tract–Okruzhnoe highway–Nam RAD.

Based on the foregoing, it is possible to discuss only two schemes for moving goods, coming by the railway, within the Tuymaada valley (Pic. 1):

Scheme 1. Approach to the bridge across the Lena River (4,2 km) – Umnas RAD (about 30 km) – border of the Yakutsk City district – WCC – industrial zone and warehouse terminals of the western outskirts of Yakutsk–transit cargoes on FAD A-331 «Vilyui».

Scheme 2. Approach to the bridge across the Lena River (4,2 km) – Umnas RAD (about 30 km) – border of the Yakutsk city district – ECC – Nam RAD – Yakutsk petroleum storage depot (village Zhatai).

Both schemes include the same section of the road with a length of about 35 km: approach to the bridge across the Lena River (4,2 km) – Umnas

⁷ [Electronic resource]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854799.pdf/>. Last accessed 22.08.2021.

RAD, which is associated with its non-alternateness within the current road infrastructure of the Tuymaada valley.

METHODOLOGY

Following the problem of the lack of correct regulatory documentation for determining the load on road pavement from the flow of cars and for development of forecasts on the dynamics of its change, the author developed its own load assessment system. Its foundation is the principle of calculating the axial load of any motor vehicle reduced to the axial load of the so-called «standard private car» (the regulatory requirement of the road construction industry). The standard axial load from the given passenger car is determined based on the category of the road or its section (Table 1). The category of the road is indicated in the passport of the road (stored materials) or regulatory documents. Next, an estimate of an existing or promising cargo-passenger flow is made. The total volume of cargo-passenger traffic is estimated. The technical characteristics of vehicles that will be involved in transportation are determined. The real axial load of an existing or promising transport flow, considering the types of cargo transported (bulk, overall, food, fertilizers, etc.) and passengers are calculated. The data obtained are normalised being reduced to the standard axial load of the standard passenger car.

In an extended model/cargo model scheme, it is assumed that the structure of goods for each of the city corridors has its own specifics. Only fuel, lubricants and petroleum products are transported along ECC in transit to Yakutsk petroleum storage depot (village Zhatai). All other goods are transported along WCC. These include cargoes, following in transit to FAD A-331 «Vilyui», as well as intended for stockage in the warehouse areas of Khatyng-Yuryakhsky and Okruzhnoe Highways. According to the classification of city streets and roads (SNIP 02.07.01-89 «Urban planning») all the roads of ECC and WCC refer to the category II («Main Streets»). In accordance with the technical classification (Table 1), which is established depending on traffic intensity, all parts of the roads of both corridors belong to the category IV. The real estimated traffic intensity on the roads of the IV category reduced to the car, according to which the design of the road is made, is 200–2000 normalised passenger cars per day in both directions.

At the same time, in accordance with the peculiarities of the regulatory framework, the

Table 1
Identification of the road category
per traffic intensity*

Road category	Estimated traffic intensity, car/day	
	in transport units	reduced to a passenger car
I-a	Above 7000	Above 14000
I-b	Above 7000	Above 14000
II	3000–7000	6000–14000
III	1000–3000	2000–6000
IV	100–1000	200–2000
V	Below 100	Below 200

*According to SP 34.13330.2012 «Automobile roads». [Electronic resource]: docs.cntd.ru/document/1200095524/. Last accessed 22.08.2021.

roads of the category IV and city main roads are built, mainly, for the axial load of up to six tons.

The main problem that needs to be solved in the simulation process is to determine the probable capacity of urban traffic infrastructure to ensure the unhindered passage of cargo that will come to the left bank of the Lena River after construction of the bridge, considering also possible developments within next 20 years. To build and calculate the extended model, it is necessary to determine its basic parameters, including:

1. Cargo transportation channels through urban infrastructure and their technical capabilities (intensity and load) to ensure cargo transportation.

2. Assessment of the growth of the volume of cargo turnover after construction of the bridge across the Lena River for certain types of goods.

3. The choice of technical systems involved in transportation of goods and calculation of the standard growth in traffic intensity, as well as the physical exertion to the city roads.

The results obtained regarding the growth of traffic intensity and load on city roads when compared with the actual technical capacity of the city road infrastructure will allow to evaluate promising areas of modernisation or reconstruction of the road infrastructure of the Tuymaada valley.

As shown above, due to the features of historical urban development, transportation of goods is possible only through the urban territory and exclusively on two routes: Eastern and Western city corridors (respectively, ECC and WCC). Cargo transportation can be carried out according to two schemes. Both schemes have a common section: an approach to a bridge across the Lena River (4,2 km) – Umnas RAD (about 30 km) – the border of the Yakutsk City district. Through the Eastern corridor, it is supposed to transport exclusively fuels, and through the



Western – all other goods. All roads included in the scheme belong to the category IV with the standard maximum permissible axial load of six tons.

We shall carry out the close-to-reality calculation of the load on the road pavement from the standard passenger car, which is laid in the basis of the extended model. Parameters for calculation:

- Weight of a standard car – 1500 kg (14715 N when $g = 9,81 \text{ m/s}^2$).
- Number of axes – 2.
- Number of wheels – 4.
- Width of one tire – 0,145 m.
- Length of the area of the contact of a tire with road pavement along the axis of the movement of a car – 0,1 m.

The assumed width of the tire of 145 mm corresponds to the minimum width of the tires produced by the domestic industry for economy-class cars, which allows determining the maximum possible load from the wheel of the given vehicle on the road structure.

The area (S) of the tire contact with the road is $0,0145 \text{ m}^2$. A wheel accounts for 375 kg of the distributed weight of the car, which is 3678,75 N (P_{car}). We determine the load (P), created by one wheel of the standard passenger car on road pavement as:

$$P = P_{\text{car}} / S = 3678,75 \text{ N} / 0,0145 \text{ m}^2 = 253706,89655 \text{ Pa} \approx 253,707 \text{ kPa}.$$

For comparison, let us determine the pressure of a «model chassis's» wheel (P_n) given in GOST 52748–2007⁸ on the contact area of $0,0145 \text{ m}^2$:

$$P = P_n / S = 500 \text{ N} / 0,0145 \text{ m}^2 = 34482,75862 \text{ Pa} \approx 34,482 \text{ kPa}.$$

Thus, the pressure on the road of a wheel of GOST «model chassis» is more than seven times less than the pressure of the wheel of the standard car. Accordingly, the application of the recommendations of this regulatory document in practical calculations will lead to unpredictable results in terms of sustainability and safety of highways.

It should be emphasised that the expression of the axial load in Newtons, adopted in the regulatory documentation, has a very small significance for practical calculations of the load on road pavement. The axial load expressed in Newtons is recorded

only by special equipment during a sufficiently cumbersome procedure and only to standardise measurement data (for example, under the influence of static or dynamic stamps) when checking the quality of road pavement. The values of the axial pressure, expressed in Newtons, do not change in variations of gravity acceleration at different points of the earth's surface. In this aspect, the measured axial pressure reflects the effect of the axis of the car on the rod of the measuring instrument and is in no way associated with the impact of the car on the roadway. The impact of the weight of the car on road pavement is transmitted by wheels through the contact area and should be expressed in Pascals (N/m^2). In real conditions, when receiving data of operational control over the road traffic, determining the parameters of the contact area of each wheel of all cars is impossible. The factors affecting the size of the contact area are the vehicle type, type and quality of tires, their width and working pressure, cargo, air temperature, etc. Accordingly, kilograms are used in the practice of road control of the load from cars on the structural elements of highways everywhere. This value reflects the weight of the car and is easily fixed at the posts of weight control even for moving cars. Accordingly, when calculating loads within the extended model, a kilogram is used as a unit of measurement.

For the roads of II–V categories the upper limit of the permissible traffic intensity is indicated. It is assumed that the construction of a certain category of the road is designed for traffic of precisely this maximum of cars per day. Data on traffic intensity in transport units (vehicles) does not allow to identify the weight of each unit. Let's recall essential parameters of standard passenger car:

- Weight – 1500 kg.
- And number of axes – 2.

Let's calculate:

1. General standard normalised daily load on road pavement (P_1), which is a product of the maximum daily standard intensity of the normalised passenger cars and a mass of one given car.

For roads of the category IV:

$$P_1(\text{IV}) = 2000 \text{ car/day} \times 1500 \text{ kg} = 3\,000\,000 \text{ kg/day} = 3\,000 \text{ t/day}.$$

2. Single standard axial load from the normalised car (P_2), obtained by dividing the mass of one car by the number of axes.

For roads of any category:

$$P_2 = 1500 \text{ kg} / 2 = 750 \text{ kg}.$$

⁸ GOST 52748–2007 «National standard of the Russian Federation. Automobile roads of public use. Regulatory loads, calculation schemes of loading and dimensions of approximation». [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497/>. Last accessed 22.08.2021.

3. The number of standard axial exposure (N1), which is determined by multiplying the number of standard normalised cars by the number of axes.

For roads of the category IV:

$$N1 = 2000 \text{ car/day} \times 2 = 4000.$$

This indicator is dimensionless. It can be used when determining additional loads on road pavement arising from the action of a force pulse on irregularities or potholes, as well as from centrifugal forces and shear efforts in the materials of road pavement in turns.

Indicated parameters are regulatory ones, i.e., calculated according to the regulatory requirements for traffic intensity. At the same time, similar calculations can be made for model or real vehicles. Calculating the average axial load (P3) of the vehicle according to the P2 technique, it is necessary to determine the coefficient of reduction (M1) of the average axial load of the vehicle to a single standard axial load from the normalised car according to the formula:

$$M1 = P3/P2. \quad (1)$$

The reduction coefficient shows, what number of single standard axial loads from the normalised standard vehicle corresponds to the average axial load of the considered vehicle, and makes it possible to conduct a comparative analysis of relative changes in the load relative to the standard one. For any wheeled vehicle, as well as for the normalised one, a total daily load on road pavement (P4) and the amount of axial effects (N2) are calculated. N2 can be reduced to a standard passenger car according to the formula $N1 = N2 \times M1$. The proposed units of measurement allow within the framework of the current regulatory documentation to quantitatively estimate the load intensity and its temporary fluctuations for any entire road, its individual sections or arbitrary transverse profiles. At the same time, it is possible to assess the impact of any types of vehicles, including motorcycles, bicycles, etc.

Based on the standard traffic intensity for roads of the category IV (200–2000 car/day) and the weight of the standard car (1500 kg), we determine the maximum allowable overall normalise daily load on the road pavement.

$$P1_{\max} = 2000 \text{ car/day} \times 2 \times 750 \text{ kg} = 3\,000\,000 \text{ kg/day} = 3\,000 \text{ t/day}.$$

The standard normalised axial load (both general and single) shows which axial pressure is implied by a standard vehicle or a flow of cars on road pavement, both in static condition and along

the entire distance of its movement. The impact on road pavement is carried out by wheels through the contact area. At the same time, the bulk share of the load falls on a running track within the road lane.

RESULTS

After commissioning of the bridge across the Lena River transport flow of Yakutsk will be composed of three components: currently existing, redirected from winter ice roads and summer ferries, as well as of vehicles carrying cargo coming by rail (main flow).

It is believed that the existing traffic intensity does not exceed the standard one and amounts to 2000 normalised cars per day. Standard axial load on road pavement, including transport flows through ice and ferry crossing is of 3000 tons per day. The number of daily standard axial exposures (N1) – 4000.

Assessment of intensity of the redistributed flow, with the prospect till the year 2044, was produced by the Research and design institution of territorial development and transport infrastructure⁹. This assessment is presented in Table 2, which is expanded by the author's calculated data on the standard normalised intensity and the standard normalised axial load.

The entire redistributed flow in the calculated model runs along the route of scheme No. 1.

Calculation of the forecast of movement conducted by Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure⁹, in accordance with the tasks assigned to it, was focused exclusively on determining the flow intensity. It does not contain any forecasts or data on changes in the load on road pavement. Accordingly, the amount of cargo/passengers in transport units is not taken into account.

In this regard, the author presents the basic parameters for calculating the normalised axial load for various types of vehicles presented in Table 2:

- Cars. The characteristics correspond to the parameters of the standard normalised car – the mass of 1500 kg, two axes.
- The calculation of the axial load of the buses was carried out for the most common brand that

⁹ Transport model of the project of construction of the bridge across the Lena River near the city of Yakutsk. Stage 1. LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure. St.Petersburg, 2018, 93 p.



Table 2

Intensity of the redistributed transport flow and its standard daily normalised axial load with the outlook for 2044 [Table is compiled by the author using the data* in column 2]

Transport type	Traffic intensity car/day, units/normalised	Curb weight, kg	Weight with cargo or passengers, kg	Number of axes, pcs	P4 / N2, t/quantity	M1 / N1
1	2	3	4	5	6	7
Passenger cars	4550*/4550	1500	1500	2	6750/9100	1/9100
Buses	185*/629	17930	23130	2	4279/370	15,42/5705
Cargo transportation trucks with bearing capacity:						
up to 5 tons	445*/890	2500	7500	2	3338/890	5/4450
from 5 t to 12 t	450*/1080	6000	18000	3	8100/1350	8/10800
from 12 t to 20 t	275*/715	7000	24000	4	6600/1100	8/8800
above 20 t	495*/1485	7000	30000	5	14850/2475	8/19880
Total	6400*/9349	—	—	—	43917/15285	-/58735

* Data of LLC Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure⁹.

operates on suburban routes. Brand – LiAZ 525657. Curb weight – 17930 kg. The number of axes – 2. The maximum number of passengers – 104. The calculations assume that the population of the bus is 50 % with the standard weight of one conventional passenger assumed to be 100 kg.

- Trucks have a load capacity of up to 5 tons. Curb weight – 2500 kg. Total weight of 7500 kg. The number of axes – 2.

- For vehicles with a load capacity of more than five tons, characteristics were determined based on the maximum allowable axial pressure for the roads of the accepted category (6000 kg) and the number of axes. The mass of the equipped car was determined according to standard maximum load capacity for cars with a load capacity from 12 to 20 tons and above 20 tons, considering curb weight of a possible chassis. For a redistributed flow, only the full mass of the vehicle has a fundamental importance.

- Trucks with a load capacity from 5 to 12 tons. Axes – 3. Maximum permissible total weight of 18000 kg. Curb weight 6000 kg.

- Trucks with a load capacity from 12 to 20 tons. Axes – 4. Maximum permissible total weight of 24000 kg. Curb weight 7000 kg.

- Trucks with a load capacity of more than 20 tons. Axes – 5. Maximum permissible total weight of 30000 kg. Curb weight 7000 kg.

In the main flow of cargo turnover between the point of departure and the city of Yakutsk, two fundamentally different traffic vectors will be formed. From cargo terminals of the station of Nizhny Bestyakh to destination cars move with full load, and from Tuymaada valley to terminals – mainly with curb weigh (empty cars). Accordingly,

for calculating traffic intensity and the normalised axial load when driving to the station Nizhny Bestyakh, specific data on weight of vehicles in the equipped state is necessary.

To calculate the parameters of the main flow, the chassis of type KAMAZ 65201-63 is selected. The number of axes – 4. Curb weight of 11250 kg.

Transportation of oil products is carried out by a tank truck type «Sespe» with a total weight of 35400 kg. Curb weight 10400 kg. Useful cargo – 25000 kg. The number of axes – 3.

Calculation characteristics of a vehicle with tank truck for transportation of oil products: the number of axes – 7. Full weight – 47650 kg. Curb weight – 21650 kg. Useful cargo – 26000 kg.

All other goods are transported by the corresponding rigid trucks with a three-axes chassis. The full mass of the body device is 30750 kg, the estimated curb weight of 8000 kg. Useful cargo – 22750 kg.

The estimated characteristics of the vehicle for transportation of «dry» cargo: the number of axes – 7. Full weight – 42000 kg. Curb weight – 19250 kg. Useful cargo – 22750 kg.

Let us estimate the volume and structure of the main transport flow. In accordance with the data of the press service of the Joint Stock company «Railways of Yakutia»¹⁰, the first stage of Tommot–Nizhny Bestyakh transport and logistics hub was built based on estimated capacity of six million tons per year. We assume that two million tons are sent in the eastern and south-eastern directions through the roads R-504

¹⁰ Official website of Joint-stock company «Railways of Yakutia». [Electronic resource]: <https://rw-y.ru/>. Last accessed 22.08.2021.

«Kolyma» and «Amga». Four million tons will go to the left bank through the bridge.

In accordance with the official documents of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia), in particular with the decree of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) of March 29, 2019 No. 322-r «On organisation of delivery of goods to the Republic of Sakha (Yakutia) during navigation period 2019 (as updated on October 3, 2019)» (as amended by the order of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia) dated 03.10.2019 No. 1264-r)¹¹, the volume of «Northern Supply Delivery» of oil products to the Republic of Sakha (Yakutia) during navigation period 2019 was about 500 thousand tons. The need of Central Yakutia in fuel and lubricants is also about 500 thousand tons. Thus, in the flow of goods transported to the left bank, petroleum products, fuel and lubricants will make one million tons, and three million tons will consist of other goods.

Based on the structure and volume of goods, let us calculate the need for vehicles (N, in pieces) for their transportation based on the formula:

$$N = \text{cargo volume/carrying capacity of a transport unit.} \quad (2)$$

Petroleum products and fuel and lubricants (N4):

$$N4 = 1\,000\,000\,000 \text{ kg} / 25\,000 \text{ kg} = 40\,000 \text{ cars.}$$

Average annual average daily intensity (I_{avdoil}) of tank trunks:

$$I4 = 40\,000 \text{ cars} \times 2/365 \text{ days} = 109,59 \times 2 \text{ cars/day} \sim 110 \times 2 \text{ cars/day} = 220 \text{ cars/day.}$$

Other goods (N5):

$$N5 = 3\,000\,000\,000 \text{ kg} / 22\,750 \text{ kg} = 131\,868,13 \text{ cars} \sim 131\,869 \text{ cars.}$$

Average annual average daily intensity (I_{avdtruck}) of trucks:

$$I5 = 131\,869 \text{ cars} \times 2/365 \text{ day} = 361,28 \times 2 \text{ cars/day} \sim 362 \times 2 \text{ cars/day} = 724 \text{ cars/day.}$$

When calculating the intensity, multiplication by two takes into account transport flow in both directions.

The intensity of the main transport flow and its standard daily normalised axial load are presented in Table 3.

Before starting the analysis of the growth in traffic intensity and load on the roadway, it is necessary to highlight in the calculated cargo transportation schemes the sections with homogeneous density of traffic.

¹¹ Official website of the Government of the Republic Sakha (Yakutia). [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/561407665>. Last accessed 22.08.2021.

Both schemes have one common section: Umnas RAD – border of the Yakutsk city district nearly 30 km long (hereinafter «Umnas section»). All goods arriving to the left bank from the bridge will be transported along it.

On the border of the city (at the traffic circle Umnas RAD, Avtodorozhnaya str., Krasilnikova str.) a single transport flow is divided into two, running respectively through the Western (WCC) and Eastern (ECC) city corridors.

In accordance with the extended model under consideration, only oil products, fuel and lubricants are transported along the Eastern corridor to Yakutsk petroleum storage depot in Zhatai village (scheme 2). All other goods and passengers follow the Western corridor (scheme 1). The estimated characteristics of promising transport flows on separate sections are presented in Table 4.

As can be seen from the data given in Table 4, the most problematic situation will be on Umnas section. The estimated traffic intensity on the section, considering the existing transport flow, will reach 16354 normalised cars per day, which corresponds to traffic intensity of roads of category I, more precisely I-b (general-purpose main roads). At the same time, total daily load and the number of standard axial daily impacts on road pavement will increase by about 32 times. It should be recalled that design of the road pavement and the main body of the earth embankment of Umnas section was calculated based on the standards for roads of category IV, considering outlook for the next 20 years. However, in the future, only the transport flow of the left bank was considered together with, most likely, an increase in the cargo flow associated with completion of construction of the Umnas republican year-round road (Yakutsk–Lensk, 1216 km).

Based on the calculations within the extended model of cargo-passenger transportation and considering the current state of the road on Umnas section, it can be argued that after the bridge across the Lena River will be commissioned this section will not be able to ensure transit of the transport flow from the right bank. The increase in traffic intensity by 7,17 times will lead to blocking of traffic in both directions due to the occurrence of traffic jams, first, at the traffic circle Umnas–Novopokrovskoe highway–Avtodorozhnaya. At the same time, the total daily load on road pavement will reach 98885 tons compared to the normative value of 3000 tons. Wear rate of asphalt concrete coating and intensity of the rut formation



Table 3

Intensity of the promising main transport flow and its standard daily normalised axial load on the Umnas section [compiled by the author]

Transport type	Traffic intensity cars/day, units/normalised	Load	Weight of one transport unit, kg	Number of axes	P4/N2, t/quantity	M1/N1
1	2	3	4	5	6	7
KamAZ 65201-63 with tank truck type «Sespel»	110/330	Full	47650	7	5241,5/770	9,1/6989
	110/330	Empty	21650	7	2381,5/770	4,1/3175
KamAZ 65201-63 with body device	724/2172	Full	42000	7	30408/5068	8/40544
	724/2172	Empty	19250	7	13937/5068	3,7/18752
Total	1668/5004	–	–	–	51968/11676	-/69460

Table 4

Characteristics of the promising transport flow in separate areas of Tuymaada valley roads [compiled by the author]

Section	Traffic intensity in normalised cars ($I_{normalised}$), car/day	Growth over the maximum permissible standard (existing),%	Total daily load on road pavement (P), t	Growth over the maximum permissible standard (existing),%	Number of standard axial daily impacts (N1), pcs	Growth over the maximum permissible standard (existing),%
1	2	3	4	5	6	7
Umnas	14354	717,8	95885	3196,17	128195	3205
WCC	13694	684,7	88262	2942,07	118031	2951
ECC	660	33	7623	254,1	10164	255
Nam–Yakutsk petroleum storage depot	660	33	7623	254,1	10164	255

during the summer period will increase approximately by 32 times. In the autumn-spring periods during saturation of the body of the earth embankment with water (up to 100 %), under such a load, the processes of its deformation and subsidence are inevitable. In winter, which lasts more than seven months, when the asphalt concrete roads acquire increased fragility [5], the growth of standard axial daily effects by 3205 % (Table 4, column 7) will cause intensive destruction of the asphalt concrete coating. It will be destroyed during single winter season or will require an annual overhaul on the entire length of the section, while the normative period is once every 12 years.

A similar situation will also be formed in the Western City Corridor. Considering the existing urban traffic flow, traffic intensity will be of 16694 normalised cars per day, which also corresponds to the category I-b. When changing the basic parameters of the model in a part of uniform distribution of passenger cars of a redistributed flow between WCC, ECC and the route Avtodorozhnaya str. – Oiunskogo str. (Table 2), as well as of the directions of travel of buses on Avtodorozhnaya str. – Oiunskogo str. – Bus station section, intensity in the section Krasilnikova str. – FADA-331 «Vilyui» will be of 13031 normalised

cars per day. The resulting intensity corresponds to the category II of roads.

The Eastern city corridor as for traffic intensity and loads on the roadway seems, at first glance, to have a fairly favourable situation. If design and construction of roads of the corridor considers estimated promising flows, then there are no technical problems with the passage of cargo transport. However, in accordance with the model, this cargo flow is represented exclusively by tank trucks carrying petroleum products, fuel, and lubricants. WCC and ECC pass exclusively through the territory of urban residential buildings. The estimated annual volume of transported petroleum products and fuel and lubricants is one million tons. This type of cargo refers to particularly dangerous, and mass transportation of such goods through residential sectors of cities is prohibited. Thus, delivery of extremely dangerous goods from the railway station to Zhatai village through the city road infrastructure is not possible at all.

There is a formal solution regarding transiting through the city infrastructure of about three million tons of different goods (without oil products). Considering current problems of the city road infrastructure [1], one of the most familiar paths seems to reconstruct a set of roads

that are included in the scheme 1, and bring them in terms of transit capacity and permissible axial load to the state of the category of roads of category I-b. However, the peculiarities of the historically inherited scheme of residential building and the road scheme of the city of Yakutsk, the quality of soils of grounds and standard requirements for urban roads and highways exclude the possibility of implementing this project even in the distant future.

At the same time, an important problem that creates an almost insurmountable barrier to solve the obvious transport and logistics tasks is that the discussed cargo transportation schemes include roads, whose construction, repair, and maintenance are carried out at the expense of the budgets of three different levels. Approach to the bridge in the left bank of the Lena River of about 4,2 km, refers to the federal level. The Umnas section to the border of the Yakutsk city district (about 30 km) and a section of the Nam road from the city border to the border of municipal district «village Zhatai» (about 17 km) refer to the republican budget. Financing of road works within the city of Yakutsk and municipal district «village Zhatai» is carried out from municipal budgets. Considering the standard volumes of funds for road construction in various budgets and the requirements for execution of budget legislation, it does not seem possible to find the solution of the above problems of the transport infrastructure of the Tuymaada valley.

CONCLUSION

Approbation of a new procedure to calculate the load on the roadway has revealed its practical applicability when evaluating existing and promising transport flows with regard to the traffic intensity and the load on road pavement. The developed technique allows calculating the real load on the structure of the motor road for a transport flow consisting of any type of vehicles. The obtained data is reduced to the load of the standard normalised passenger car. The parameters of the normalised car can be selected in relation to the situation on a specific road or their network. First, it concerns its total weight and number of virtual passengers. At the same time, when developing a methodology, the determination of a real load from vehicles was not the main task. The main objective was to obtain an algorithm for calculating, which makes it possible to associate the data of transport and logistics origin-destination matrices, which, at its base, have exclusively

economic evaluation criteria (economic feasibility), with construction features of roads, which are not considered in origin-destination matrices. For example, if in the built origin-destination matrix an economically reasonable transport artery is identified, which will transport some amount of cargo with specific types of vehicles, the proposed method allows determining the conformity of the design of the road or roads in the transport corridor to cargo flow and type of vehicles predicted in the origin-destination matrix. Based on the obtained calculations, it is possible to offer substantiated recommendations regarding amendments to the logistics routes or overhaul/reconstruction of the selected transport routes, construction technologies. The technique also allows making recommendations on the necessary changes and optimisation of the structure of the current and promising fleet of vehicles (regarding load capacity, the number of axes, routes, etc.), organisation of transport flows, depending on the structural features of roads, organisation and location of transport and logistics centres or warehouses (warehousing, weight control, loading and unloading, service station, filling stations, parking, campgrounds, etc.). An important property of the technique is the possibility of producing an independent automated calculation and digital modelling of the destinations and volumes of cargo-passenger transportation within the urban street road network, considering its design features.

Based on the approbation of the developed technique when calculating the prospective load on the street-road network of the Yakutsk city district, which will arise after construction of the bridge across the Lena River, it is possible to draw the following conclusions.

1. The road infrastructure of the Tuymaada valley is not able to ensure the passage of prospective cargo flows that will go to the left bank of the Lena River through the bridge.

2. Reconstruction of basic roads and bringing their condition, transit capacity and permissible loads to the level of category I-b roads, primarily within the boundaries of the Yakutsk city district and municipal district «village Zhatai», are impossible because of a number of objective reasons.

3. The only possible solution to the overwhelming part of the problems arising is construction of a federal circle highway passing mainly outside the Tuymaada valley. As the most promising route, the highway is proposed to be



built at the so-called «main shore»: bridge area at the left bank–FAD «Vilyui»–Magansky highway–Nam RAD–Yakutsk petroleum storage depot (Zhatai village).

REFERENCES

1. Ivanova, A. E., Filippov, D. V. Creation background of the Yakutsk city intelligent transport system. *Amazonia investiga*, 2019, Vol. 8, No. 23, pp. 419–430. [Electronic resource]: <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/download/886/827/> Last accessed 07.02.2022.
2. Gabyshev, M. V. Study of temperature cracking of asphalt concrete coatings [*Issledovanie temperaturnogo rastreskivaniya asfaltobetonnnykh pokrytii*]. Collection of materials of the All-Russian Forum «Transport Systems and Road Infrastructure of the Far North» and of the week of student science of the Road Faculty of NEFU. Yakutsk, Publishing house NEFU, 2018, pp. 92–97. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36522161&selid=36748529>. Last accessed 07.02.2022.
3. Gabyshev, M. V., Lebedev, M. P., Stepanov, S. P., Sivtsev, P. V. Numerical simulation of the stress-deformed state of road pavement in the conditions of the Far North [*Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dorozhnoi odezhdv v usloviyakh krainego Severa*]. Analytical control of production, environmental problems of chemical technology, pp. 163–164. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26265098>. Last accessed 07.02.2022.
4. Gabyshev, M. V. On the occurrence of temperature cracks in the asphalt concrete coating in the conditions of the Far North [*O vozniknovenii temperaturnykh treschin v asfaltobetonnnoy pokrytii v usloviyakh Krainego Severa*]. XVII conference, Vol. 1, Sections 1–3, pp. 29–33. [Electronic resource]: [https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_BHIIK_\(том_1\).pdf](https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_BHIIK_(том_1).pdf). Last accessed 07.02.2022.
5. Gabyshev, M. V., Ediseev, O. S. Analysis of dependence of temperature cracking and module of elasticity of asphalt concrete coatings [*Analiz zavisimosti temperaturnogo rastreskivaniya i modulya uprugosti asfaltobetonnnykh pokrytii*]. *Byulleten stroitelnoi tekhniki*, 2019, Iss. 11 (1023), pp. 29–37. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Last accessed 07.02.2022.
6. Nikolaeva, G. O., Solov'yov, D. B. Characteristics of the processes of frost heaving of subgrade soils of highways in Central Yakutia [*Kharakteristika protsessov mornoznogo pucheniya gruntov zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog Tsentralnoi Yakutii*]. *Byulleten stroitelnoi tekhniki*, 2019, Iss. 11 (1023), pp. 56–59. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Last accessed 07.02.2022.
7. Nikolaeva, G. O. Study of moisture-conducting properties of subgrade soils of highways in Central Yakutia [*Issledovanie vlagoprigodnykh gruntov zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog Tsentralnoi Yakutii*]. *Transport*, 2018, Iss. 6, pp. 347–351. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36905519>. Last accessed 07.02.2022.
8. Shesternev, D. M., Ostrel'dina, T. V. On the methodology for studying hydrothermal deformations on highways in the permafrost zone [*K metodike issledovaniya gidrotermicheskikh deformatsii na avtomobilnykh dorogakh kriolitozony*]. *Nauka i obrazovanie*, 2017, Iss. 1, pp. 57–62. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28856021>. Last accessed 07.02.2022.
9. Atabekov, K. K., Nikolaeva, G. O., Sarymsakov, B. A., Maksimovich, K. Yu., Voinash, S. A., Kamenchukov, A. V., Sokolova, V. A. Decrease in average traffic speed and increase in harmful emissions of vehicles at unregulated pedestrian crossings in cities. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1679, Iss. 5, J. Phys.: Conf. Ser. 1679 052055. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/5/052055.
10. Kamenchukov, A. V., Nikolaev, G. O., Gorshkov, N. I., Lovtsov, A. D. Assessment of sustainability of slopes of the system «roadbed–road pavement» with a broken structure [*Otsenka ustoychivosti otkosov sistemy «zemlyanoe polotno-dorozhnaya odezhd» s narushennoi strukturoi*]. *Internet journal «Transportnie sooruzheniya»*, 2020, Iss. 4, Vol. 7. [Electronic resource]: <https://t-s.today/05sats420.html>. Last accessed 07.02.2022.
11. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O. Research on the Hydraulic Conductivity Properties of the Soil Subgrade of the Central Yakutia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, Vol. 1079, Chapter 1, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 022069. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/2/022069.
12. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O., Ukrainskiy, I. S. Improving the stability of high embankment slopes on weak foundations. E3S Web Conf., 2021, Vol. 244, XXII International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202124405018.
13. Rudov, S. E., Grigorev, I. V., Kunickaya, O. A., Druzyanova, V. P., Pekhutov, A. S., Ivanov, A. P., Ivanov, A. K., Okhlopova, M. K., Pankov, V. Yu., Borovikov, R. G. Specific features of accounting of state of the massive of the frozen soil grounds under cyclic loads. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (Suppl. 2) 2019 Agricultural Academy, pp. 1–15. [Electronic resource]: <https://www.agrojournal.org/25/02s-23.pdf>. Last accessed 07.02.2022.
14. Pankov, V. Yu. Assessment of the Throughput and Stability of Highways in the Permafrost Zone on the Example of the City of Yakutsk. Trans Tech Publications Inc., Switzerland, Advanced Engineering Forum, 2021, Vol. 45.
15. Geology of the USSR. Volume XVIII. Western part of the Yakutsk ASSR. Part I. Geological Description. Book I. Ed. by Academician A. V. Sidorenko. Moscow, Nedra publ., 1970, 536 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/geologiya-sssr-tom-xviii-zapadnaya-chast-yakutskoy-assr-chast-1-geologicheskoe-opisanie-kniga-1_33bb3c64d1a.html. Last accessed 07.02.2022.
16. Map of «Frozen-hydrogeological zoning of Eastern Siberia» [*Karta «Merzlotno-gidrogeologicheskogo raionirovaniya Vostochnoi Sibiri»*]. Ed. by the Academician M. P. Melnikov, 1984.
17. Frozen-hydrogeological conditions of Eastern Siberia [*Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya Vostochnoi Sibiri*]. Ed. by the Academician M. P. Melnikov. Novosibirsk, Nauka publ., 1984, 189 p.

Information about the author:

Pankov, Vladimir Yu., Ph.D. (Geological and Mineralogical Sciences), Master of Management in Transport, Associate Professor at M. K. Ammosov North-Eastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia, pankov1956@inbox.ru.

Article received 17.01.2022, revised 28.01.2022, approved 18.02.2022, accepted 22.02.2022.

Editorial note. The published article offers opportunity for scientific discussion, particularly considering author's opinion on the need to develop and / or clarify a number of parameters of regulatory documents in terms of road construction, his proposals on calculation of the load on the roadway. Publications on this topic can be continued upon receipt of opinions that support those expressed by the author or, on the contrary, are alternative to them.



Train Formation Management. Part 1



Dmitry Yu. Levin

JSC NIIS, Moscow, Russia.

✉ levindu@yandex.ru.

Dmitry Yu. LEVIN

ABSTRACT

Long-term regulatory and technological documents related to train formation are often so far from the changing actual operational situation that more trains are being formed than can be provided with locomotives and sent from the station in a timely manner, sections are oversaturated with trains, stations operate with an excess of car fleet, etc. Such unpredictable situations result in unproductive delays of trains, increase the goods delivery time, reduce the use of transit, transportation, and processing capacity of railways. At the same time, reducing the time of validity of regulatory and technological documents can significantly increase the efficiency of operational management of the transportation process. The purpose of the article is to show how the operational management of train formation instead of the passive uncontrolled process of accumulation of trains at marshalling yards expands the possibilities of the train formation plan, eliminates uncertainty

and creates optimal conditions for train, marshalling and freight operations.

Changes in management of train formation, which are put forward on the basis of generalisation of a number of results of earlier author's studies and publications and newly formulated proposals for discussion, will make it possible to manage the transportation process in a fundamentally new way: to form such a number of trains that will be provided in a timely manner with locomotives and «threads» of the train schedule; send such a number of trains from the train assembling stations that will not lead to oversaturation of sections with trains; to ensure the arrival of such a number of trains at marshalling yards that will allow them to work in the optimal mode; to ensure the parity of arrivals of even and odd trains at locomotive change stations; to help in a timely manner with the selection of wagons cars in case of difficulties in the work of freight stations, etc. [1].

Keywords: railway, train formation management, regulatory and technological documents, unproductive losses, optimal operative conditions, operational management of the transportation process.

For citation: Levin, D. Yu. Train Formation Management. Part 1. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 227–234. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-11>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Analysis of the Current Conditions

In the context of widespread digitalisation, a process approach is being actively introduced on railways, which makes it possible to optimise the transportation process and increase the efficiency of the management system [2–4]. The train formation management technology considered in the article is one of the directions for the effective use of new technical means and software for the implementation process model of the transportation process.

The even parity and non-compliance of incoming groups of car flows with the norms of the length and weight of trains necessitate accumulation of cars to assemble a train. The duration of train formation depends on the number of cars assigned to go to a destination and the size of the assembled trains. The time spent on assembling of trains when calculating the plan for formation of trains determines the efficiency of separating a car flow into an independent assignment [5–6].

The duration of formation of trains is a significant part of the total time spent by transiting cars at marshalling and precinct stations. With the timely processing of car flows at technical stations (optimal operation), the demurrage of cars under accumulation accounts for more than 50 % of the time they are at the station. Under modern conditions, when inter-operational downtime in the total time spent by processed transit cars at the station is up to 40 %, the downtime of accumulated cars also accounts for about 40 % [7].

Such statistics testify to the great influence of idle cars under accumulation on respect of cargo delivery time and the efficiency of marshalling yards. This determines the great practical importance of the need for further optimisation of the accumulation process [6].

To accelerate the accumulation of wagons, the following measures were proposed: ensuring the priority of disassembling of trains with cars that complete the formation of trains; coordination of the supply of large groups of cars to the destinations stipulated by the plan of train formation; scheduling of loading of non-routable cargoes by enlarged groups; completion of cargo operations and inclusion of cars into the trains being assembled; acceleration of the transfer of cars from one sorting system to another (at two-way marshalling yards). But the effectiveness of these measures was small.

The process of accumulation of wagons for train formation is of a stochastic nature, i.e., the moments of completion of the accumulation never

repeat, and the train schedule is deterministic. As a result of this contradiction, the assembled trains in the departure parks of stations first stand idle for an average of 2 hours waiting for train locomotives, and then for almost 2 more hours waiting for departure from the station. Passive flow of probabilistic processes of formation of trains inevitably provokes inconsistency with other processes. For example, more trains are assembled than the capacity of adjacent sections and routes, there are oversaturation of sections and train congestion. More trains are sent to destination stations than the processing capacity of those stations allows. There is an excess of rolling stock, causing inter-operational downtime [6].

As previously highlighted, flexible operational system is needed for timely adjustment of the formation plan, which would respond to fluctuations in the size of car flows, possibility of providing assembled trains with locomotives and crews, removal of trains from stations, the need to redistribute marshalling work between stations, etc. In this situation, an automated system for monitoring the strict implementation of the formation plan is an anachronism. Thus, the passive, uncontrolled process of accumulation of trains causes a large number of negative consequences and unjustified costs [6].

Foreign Practices of Train Formation [8]

Train specialisation methods are being developed in Europe and the USA. Much attention is paid to the accounting of car flows. In different countries, most experts have come to the conclusion that train specialisation schemes should be based on reporting data on the structure of car flows for past periods. This is illustrated by some facts from recent railway history.

For example, historically, in the UK, car flows were audited 2–4 times a year for one week during the season, while traffic volume and schedule compliance statistics are currently compiled quarterly or every four weeks. A similar accounting is conducted in the USA.

The accounting of car flows in Germany was especially carefully organised and carried out according to two positions:

1. At large marshalling yards processing more than 2 000 cars per day, car flows are recorded monthly during a week, according to the appointments of the specialisation plan, as well as to allocated groups.

2. For each of 152 designated marshalling yards, car flows between the «local area» of this

station and the «destination areas» of the remaining 151 stations are considered. As a result, a «chessboard» of laden car flows between selected marshalling yards is formed.

Specialisation schemes provided for the use of reporting data on car flows: in the USA – below average with the appointment of additional trains with an increase in car flows; in the UK – for medium car flows; in Germany also for medium car flows while distinguishing «main» trains for the minimum car flows. France practices singled out «permanent» trains for below-average flows, with inclusion of «optional» trains as flows increase.

Specialisation schemes are determined empirically based on the experience of previous years. There are no railway-wide or even network calculations of train specialisation. However, prior to the introduction of a specialisation scheme, it is reviewed in detail at the level of the railway management.

At the same time, there are some provisions that are the basis for choosing specialisation schemes. Here, for example, are the provisions that have been developed for use on the road by the American Association of Railroad Engineers:

1. To ensure the selection and allocation of cars of the same destination as early as possible into groups for the further transit of such groups through passing marshalling yards (principle of «pre-marshalling»).

2. Sorting of all loaded and own railway's cars in accordance with the specialisation plan.

3. Organisation of inspection and repair of cars prior to their marshalling and adding to the train to avoid uncoupling along the route (technical and commercial inspection of cars in the arrival parks of marshalling yards).

4. Strict control over compliance with the train specialisation plan, assignment of a special agent for this purpose.

The principle of «pre-sorting» was given special importance. Enlargement of wagon groups at the initial stages, undoubtedly, facilitates the work of passing marshalling yards, especially those without humps.

The principle of concentration of sorting work has been developed. It is recognised that operation of a small number of large marshalling yards is less expensive than operation of many small marshalling yards. The unification of car flows that occurs due to that contributes to an increase in the number of single-group trains assembled for long distance routes. Therefore, the construction of the largest marshalling yards is underway [8].

Many scientific and research works (for example, [9–11]) are devoted to the issues of train formation planning and operation of marshalling yards in modern conditions, while separate study should be devoted to the analysis of those papers and works.

Problem Statement: How to Change the Situation?

Planning of train formation and of transit of trains through sections are two key tasks for operational management of train operations on railways (Pic. 1). The output of each of these tasks is the input to another task. The joint iterative solution of these problems significantly expands the time frame for operational planning of train work [12].

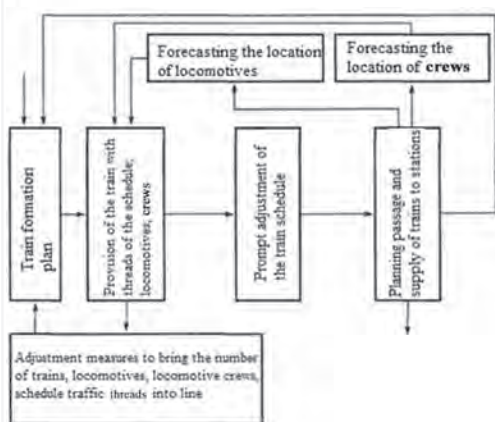
It is expedient to begin unraveling this «tangle» by increasing the depth of formation. And what depth of composition formation should be, and how is it determined?

With the so-called «no-call» system of attendance of locomotive crews, common on the railway network, up to 25 % of them come to work when there are no assembled trains at the stations and, conversely, there are no locomotive crews for the already formed trains in a timely manner. This is explained by the fact that the schedule for arrival of locomotive crews to workplaces is drawn up for 1 month. The contractor of the locomotive depot plans the departure of locomotive crews according to the turnout schedule on average 1 day before, when there is no plan for formation yet [1; 12; 13].

The need to increase the depth of train formation planning is necessary for shift-daily planning of train work. In the absence of the necessary depth of planning of train formation, the sizes of train traffic through sections are expertly determined, on the basis of which locomotive depots are given tasks for the next day to maintain the operated fleet of locomotives; neighbouring roads are informed of the planned exchange of trains at junction points, and duty teams are given the task regarding transit and transfer of trains. In connection with unreliable initial information, unjustified additional costs arise [6].

To solve these and many other issues, a formation planning depth of 24–30 hours is required. The use of automated control systems for operational organisation of car flows was indicated in [14]: «In connection with development and implementation of automated control systems, an opinion appeared





Pic. 1. Flowchart of the technological process for operational management of train work [compiled by the author].

that the formation plan should not be stable, but flexible and adjusted depending on the current operational situation with car flows. It is proposed to carry out such adjustments not only for a day, but even for a specific situation within a day».

Unfortunately, for implementation of a reasonable proposal for operational organisation of car flows then there were no necessary opportunities. They still do not exist today, so it is necessary to develop automated systems. The technical means necessary for that should indicate in a reliable manner approach of trains informing on the destination of the cars, the depth of formation for at least 24–30 hours, and the possibility of early (before the cars arrive at the station) simulation of formation of trains for various purposes.

Early modelling of train formation will make it possible:

- To create a train formation management system.
- To identify promptly train assignments that require temporary cancellation.
- To identify timely train assignments that are not included in the formation plan, while it is advisable to temporarily assign them.
- To regulate timely provision of trains with locomotives and locomotive crews and, in case of their shortage, provide for formation of later trains.
- To provide timely trains with the «threads» of the schedule.
- To regulate the loading of marshalling yards and, if necessary, to redistribute marshalling work.
- To regulate the saturation of sections with trains and, if necessary, introduce the formation of later trains.

- When providing time intervals and other breaks in movement of trains, to proceed with formation of later trains.

- To distribute train flows along branched sections of the network and, if necessary, to form trains of a different weight and length.

- To use adjustment measures to maintain the efficiency of train destination assignments (with a decrease in car flow).

- To introduce temporally group trains with a collection of cars to assist cargo stations [15].

RESULTS

Let's consider the stages of achieving planning train formation for the period of 24–30 hours. With «manual» planning of train formation, a shunting dispatcher achieved a depth of 3–4 hours, which often did not allow timely provision of trains with locomotives. In the early 1980s, with the help of the automated control system of the marshalling yard (ACSMY), it became possible to obtain the «Station Operation Plan», which issued a train formation plan for next 6–8 hours. The unreliability of the machine forecast of the approach of trains to the station distorted the planning of train formation. Deviations of the actual arrival of trains, for example, at Orekhovo-Zuevo station, from the machine forecast ranged from -2 to +8 hours. The machine forecast, based on the norms for the time of train travel in sections and downtime at stations, did not provide reliability of the forecast for arrival of trains. It became obvious that participation of the train dispatcher in planning the supply of trains to the station was necessary. In the early 2000s, the traffic control centre of Moscow Railway organised transfer of information from ACSMY of Orekhovo-Zuevo station to the automated workplace (AWS) of train, locomotive and railway dispatchers. But before adding tasks to the train dispatcher, he was freed from manually filling out the appendix to the executed traffic schedule, automating this process. This measure freed up more than 20 % of the train dispatcher's time. To get a train formation plan for next 8 hours, it turned out to be enough to plan the approach of trains for next 1–1,5 hours [13].

To increase the planning depth of train formation for more than 8 hours, it is necessary to increase the time of forecasting of the approach of trains. Practice has shown that in this way it is possible to bring the depth of formation planning to 15 hours. Moreover, with an increase in duration of the train approach forecast, reliability of the train formation plan decreases. Therefore, to

obtain a formation planning depth of more than 15 hours, it is necessary to switch from performing calculations for individual marshalling yards to performing complex calculations for marshalling yards of a railway or network's region in the Information and Computing Centres of railways. Then the calculations will be performed in two stages. At the first stage, the calculations are performed in the same way as before, separately for each marshalling yard. The formation plan at marshalling yards is nothing more than a distant approach to other marshalling yards. If, at the second stage, we continue modelling the accumulation process based on a long-range approach, then we can bring the depth of train formation planning to 24–30 hours.

Such a depth will allow, even before arrival of cars at the station, to simulate the process of accumulating trains of all possible destinations, which will allow optimising the number of assembled trains, in accordance with fluctuations in the size of car flows, to timely provide them with train locomotives, «threads» of the traffic schedule, to create optimal operating modes for sections, marshalling and cargo stations.

By the end of 2021, at 56 marshalling yards, it was planned to put into operation modules for planning and monitoring the execution in the framework of a digital railway station [16]. Within the framework of this software package, operational management of train formation can be implemented.

The operational management of train formation significantly expands the functions of the train formation plan and will allow the dispatching team, instead of recording past and ongoing events, to manage the upcoming operational work (Pic. 2).

Reducing the term of the formation plan will make it possible to manage train formation and expand the scope of organisation of car flows (to increase the number of tasks to be solved). The formation plan will not be limited only to assign the trains being formed for destination stations but will be able to provide «threads» of the train schedule, regulate the loading of sections and stations, and become the initial information for regulating the locomotive fleet and the use of locomotive crews. The elements and gravity flow of train traffic will be replaced by an optimally controlled transportation process.

Modern real-time information is not enough for management (Pic. 2). The dispatching staff with its help can only record and analyse events.

This shows that real-time information for management is not enough. There is no object to control – there is nothing to control. Upcoming events can become such a subject for management. Therefore, to increase the efficiency of train dispatchers, they must be positioned several hours ahead of the events. Simply put, so that they have a «subject» for control. That is why movement of cargo trains occurs under conditions of uncertainty, when a cargo train departs from the initial station according to the schedule, and it will arrive at the final station of the section in a certain time range [17]. As L. M. Kaganovich, People's Commissar of Railways, frankly expressed at one of the meetings back in 1935: «... *schedules and timetables exist only on paper, but in reality trains run according to the «law of gravity»*» [18]. This is true even today. That is why the actual time of arrival of trains at marshalling yards differs significantly from the computer forecast made according to schedule standards.

Provision of Trains with Locomotives

Train formation management will be the basis for effective regulation of the locomotive fleet. When regulating the locomotive fleet, it is advisable to use optimisation criteria: «reserve» mileage of locomotives (when it runs separately, without the train), their overrun between scheduled types of repairs, timely assignment of locomotives intended for maintenance and repair, downtime of trains ready for departure, reduction in the volume of car processing at the station and untimely arrival of trains.

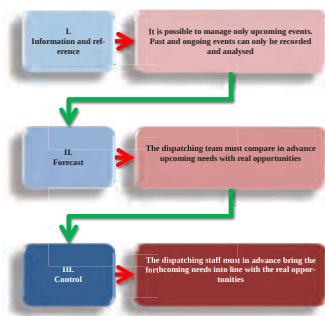
The objective function can be minimisation of downtime of trains at local stations waiting for departure, «reserve» mileage of locomotives, downtime of locomotives at stations waiting for trains. It is possible to consider the irreducible availability of locomotives at technical stations and the limitations on the operating fleet of locomotives [13].

1. The initial data are:

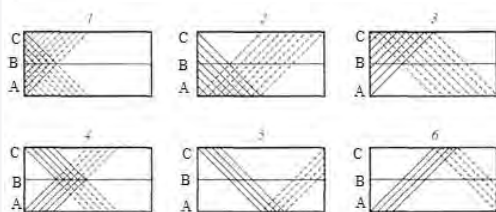
a) Normative schedules for movement of trains within the sections or a plan of train traffic, the norms for the time of turnover (stay) of locomotives at stations, the technological time from the formation of the train to departure from the station.

b) A plan of delivery of locomotives for various types of maintenance, current and overhaul (based on the task or norms of overhaul periods and runs), the standard time for its implementation and the plan for completion of repairs and maintenance.





Pic. 2. Stages of development of dispatch control
[compiled by the author].



Pic. 3. The sequence of integration of trains into the «threads» of the schedule at the stations of the locomotive section
[compiled by the author].

c) Location of trains, trains, locomotives on hauls, at stations and depots at the initial moment of planning.

d) Plan of train formation at the stations of the locomotive section [12].

2. In accordance with the plan of train formation, arrival and departure of trains is balanced at all stations of the locomotive section for the planned period (day, shift, any period of time for which the initial information is available) (Table 1).

3. The moments of completion of the formation of trains (t_{acc}) at stations, taking into account the technological standard for preparing the train for departure (t_p), are integrated into the nearest «thread» of the traffic schedule (t_p) from the condition:

$$t_p \geq t_{acc} + t_t \quad (1)$$

Integration starts from the stations with the smallest number of formed trains and further as the number of formed trains at the stations increases. In the example from Table 1 the sequence looks like this: station B, station A, station C (Pic. 3).

4. According to the completed «threads» of the traffic schedule, into which the train is integrated, transit of trains and arrival of locomotives at the station are preliminarily planned.

5. Locomotives scheduled for arrival are integrated into the «threads» of the traffic

schedule, according to which the trains are scheduled to depart, from the condition:

$$t_p \geq t_{post} + t_n \quad (2)$$

where t_{post} – time of arrival of the locomotive at the station or exit from repair;

t_n – technological turnaround time (staying) of the locomotive at the station.

The integration of locomotives into the «threads» of the traffic schedule begins with stations that have an excess of locomotives, then those that have a shortage of them in accordance with Table. 1. If there are several such stations, then the priority is established for the station with the smallest departure sizes to the station with the maximum departure sizes, i.e., integration order for the case under consideration: station A, station B, station C.

6. At stations with an excess of locomotives, before making a decision on integration of a locomotive into the «thread» of the traffic schedule, the expediency of its staying as reserved one is considered:

a) if all subsequent locomotives satisfy condition (1), then it is planned to assign the locomotive to be in reserve;

b) if condition (2) is not met for one or more locomotives, then the trains scheduled for them are reintegrated into later «threads» of the traffic schedule. If in this case condition (2) is satisfied, then reduction in locomotive-hours causes additional costs of car-hours (Table 2). Therefore, it is necessary to perform technical and economic calculations:

$$\sum N(t'_p - t_p)e_{c-h} \leq \sum L\Delta t_{loc}(e_{l-h} + e_{br-h}), \quad (3)$$

where N – the number of cars in the trains that are reintegrated into other «threads» of the traffic schedule;

L – the number of locomotives for which the downtime while waiting for departure is reduced;

$t'_p - t_p$ – additional idle time of cars due to re-assignment of the train to a later «thread» of the traffic schedule;

Δt_{loc} – reduction of the locomotive stay at the station due to reintegration into an earlier «thread» of the traffic schedule;

$e_{c-h}, e_{l-h}, e_{br-h}$ – expenditure rates for the cost of car-hour, locomotive-hour and crew-hour, respectively [12].

Table 2 shows the results of an example of integration and re-integration of trains, schedule threads, and locomotives. It should be considered that additional car-hour expenditures arise only for those trains that are overstacked, and locomotive-hour savings arise when locomotives

Table 1

Balance table of arrival and departure of trains at the stations of the locomotive section
[compiled by the author]

Arr.		Station A		Station B		Station C		Total	Adjustment gap
		Dep.	Arr.	Dep.	Arr.	Dep.			
Station A	Arr.	—	—	6	—	45	—	51	+11
	Dep.	—	—	—	8	—	54	62	
Station B	Arr.	8	—	—	—	9	—	17	-5
	Dep.	—	6	—	—	—	6	12	
Station C	Arr.	54	—	6	—	—	—	60	-6
	Dep.	—	45	—	9	—	—	54	

Table 2

The results of integration of trains, «threads» of the traffic schedule and locomotives
[compiled by the author]

Train formation plan	«Threads» of the traffic schedule		Arrival of locomotives		Expenditures of train-hours		Expenditures of locomotive-hours	
	Initially	After re-integration	Initially	After re-integration	Initially	After re-integration	Initially	After re-integration
8:46	9:54	9:54	7:35	7:54	1,133	1,133	2,333	2,000
9:19	10:18	10:18	7:54	8:09	1,000	1,000	2,400	2,150
9:54	10:58	10:58	8:09	8:31	1,067	1,067	2,812	2,450
10:37	11:40	11:40	8:31	8:58	1,050	1,050	3,150	2,700
11:08	12:18	12:18	8:58	9:35	1,167	1,167	3,333	2,717
11:26	12:32	12:32	9:35	9:56	1,100	1,100	2,950	2,600
11:49	12:51	13:39	9:56	11:18	1,033	1,667	2,933	2,183
12:37	13:47	14:04	11:18	11:35	1,167	1,450	2,483	2,483
13:09	14:19	14:36	11:35	11:57	1,167	1,450	2,733	2,650
Amount					9,884	11,084	25,127	21,933

are assigned to be in reserve and apply to all subsequent locomotives until the end of the planning period. Therefore, the fragment of the example given in Table 2, fully reflects the expenditures of car-hours, and to obtain the entire savings of locomotive-hours, it is necessary to continue Table 2 till the end of the planning period.

c) if conditions (2) and (3) are not met, the locomotive is planned for the train and integrated into the «thread» of the traffic schedule.

7. At stations where the number of departing trains is greater than arrival of locomotives with trains, but the number of locomotives assigned to be in reserve and going through the station exceeds their shortage, the above method is used. If it is necessary to change the linkage of trains to the «threads» of the traffic schedule (to reduce the expenditures of locomotive-hours), condition (3) must additionally take into account all changes that will occur not only at one station under consideration.

8. After completing paragraphs 5 and 6, in order to reduce the expenditures of locomotives, it is advisable to consider the effectiveness of the later (timely) arrival of locomotives in reserve, due to the earlier departure, which had to be reattached to some of the trains of later «threads» of the traffic schedule:

$$\sum_{st.B} L \cdot \Delta t_{loc} (e_{l-h} + e_{br-h}) + \sum_{st.A} N (t'_p - t_p) \cdot e_{c-h} \geq \sum_{st.A} N (t'_p - t_p) \cdot e_{c-h}.$$

9. At stations with a lack of locomotives, the possibility of attachment is determined by condition (2). If condition (2) is not met, then the expediency of re-integration of the trains into later «threads» of the traffic schedule is considered, or, according to condition (2), the integration of the locomotive into the next «thread» with the attached train is checked, and the missed «thread» of the traffic schedule remains for the locomotive, which will come as a reserve.

10. After the completion of the integration of trains, «threads» of the traffic schedule and locomotives at all stations of the section, the possibilities of reducing the expenditures of train-hour and locomotive-hour due to re-integration are considered [17].

The final part of the article will be published in the next issue of the journal

REFERENCES

1. Levin, D. Yu. Logistics of railway transportation process. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2021, Iss. 1–2 (92–93), pp. 21–27. [Electronic resource, paid access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46108214>.



2. Kobzev, S. A. A tool to improve efficiency [Instrument povysheniya effektivnosti]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 4–7. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841041>. Last accessed 19.01.2022.
3. Shilo, A. N. On the main results of description of the business process «transport and logistics activities» [Ob osnovnykh rezultatakh opisaniya biznes-protsessa «transportno-logisticheskaya deyatel'nost'». *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 8–15. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841042>. Last accessed 19.01.2022.
4. Rakhimzhanov, D. M. Building a cross-cutting process of transportation activity [Vystraivaya skvoznoi protsess perevozochnoi deyatel'nosti]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 16–19. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841043>. Last accessed 19.01.2022.
5. Levin, D. Yu. Organization of car flows on railways: Monograph [Organizatsiya vagonopotov na zheleznykh dorogakh: Monografiya]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2016, 443 p. [Electronic resource]: <https://umczdt.ru/books/1196/39298/>. Last accessed 19.01.2022.
6. Shapkin, I. N., Levin, D. Yu. Optimal control of train formation in railway transport [Optimalnoe upravlenie poezdooobrazovaniem na zheleznodorozhnom transporte]. *Fedor Petrovich Kochnev - an outstanding organizer of transport education and science in Russia: Proceedings of the international scientific and practical conference, Moscow, April 22–23, 2021* / Ch. ed. A. F. Borodin, comp. R. A. Efimov. Moscow, Russian University of Transport, 2021, pp. 175–191. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46552761>. Last accessed 19.01.2022.
7. Levin, D. Yu. Ensuring the threads of the train traffic schedule [Obespechenie nitok grafika dvizheniya poezdami]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 9, pp. 14–17. [Electronic resource, paid access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43873900>. Last accessed 19.01.2022.
8. Levin, D. Yu. History of technology. The history of development of the system for managing the transportation process in railway transport: Study guide [Istoriya tekhniki. Istoriya razvitiya sistemy upravleniya perevozochnym protsessom na zheleznodorozhnom transporte: Uch. posobie]. Moscow, Training-methodological center for education on railway transport, 2014, 468 p. ISBN: 978-5-89035-755-7. (Additional electronic resource: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27908703>).
9. Xue, Feng; Xiaochen, Ma; Hu, Zuoan. Building a Railway Logistics Center Based on Freight Stations and Marshalling Yards. International Conference of Logistics Engineering and Management, September 2014. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Feng-Xue-11/publication/301430092_Building_a_Railway_Logistics_Center_Based_on_Freight_Stations_and_Marshalling_Yards/links/5ffd1ec2299b140888c85da/Building-a-Railway-Logistics-Center-Based-on-Freight-Stations-and-Marshalling-Yards.pdf. Last accessed 19.01.2022. DOI: 10.1061/9780784413753.179.
10. Wenliang, Zhou; Xia, Yang; Jin, Qin; Lianbo, Deng. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis. *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 251315, 13 p. [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/251315/>. Last accessed 19.01.2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/251315>.
11. Khoshniyat, Fahimeh. Simulation of Planning Strategies for Track Allocation at Marshalling Yards. Masterarbeit, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012, 64 p. [Electronic resource]: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491060.1550158510!/X12_032_report.pdf. Last accessed 19.01.2022.
12. Levin D. Yu. Dispatch centers and technology for managing the transportation process [Dispatcherskie tsentry i tekhnologiya upravleniya perevozochnym protsessom]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 759 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/record/01002840452>. Last accessed 19.01.2022.
13. Levin, D. Yu. The theory of operational management of the transportation process [Teoriya operativnogo upravleniya perevozochnym protsessom]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2008, 625 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/record/01004353311>. Доступ 19.01.2022.
14. Ugryumov, A. K., Groshev, G. M., Kudryavtsev, V. A., Platonov, G. A. Operative traffic control in railway transport [Operativnoe upravlenie dvizheniem na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, Transport publ., 1983, 239 p.
15. Levin, D. Yu. Dispatching of Car Flows: «Management by Objectives». *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 1, pp. 136–150. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1412>. Last accessed 19.01.2022.
16. Khizhnyak, A. V. Forecast for the station [Prognoz dlya stantsii]. *Gudok No. 496 (26995) of August 11, 2020*. [Electronic resource]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1531032&archive=2020.08.11>. Last accessed 19.01.2022.
17. Levin, D. Yu. Technological modernization of the transportation management system in railway transport. Diss. dok. (tekhn.) nauk [Tekhnologicheskaya modernizatsiya sistemy upravleniya perevozkami na zheleznodorozhnom transporte. D.Sc. (Eng) thesis]. Moscow, 2015.
18. Vasiliev, I. I. Graphs and calculations for organization of railway transportation [Grafiki i raschety po organizatsii zheleznodorozhnykh perevozk]. Moscow, Zheldorizdat publ., 1941, 576 p.
19. Levin, D. Yu. Operation of railways in market conditions [Ekspluatatsiya zheleznykh dorog v rynochnykh usloviyakh]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 10, pp. 73–80. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41195841>. Last accessed 19.01.2022.
20. Levin, D. Yu. Management of the technology of the transportation process in railway transport [Upravlenie tekhnologiei perevozochnogo protsessa na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 286 p.
21. Levin, D. Yu. Transportation needs and opportunities for railways [Potrebnosti v perevozkakh i vozmozhnosti zheleznykh dorog]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 245 p.
22. Levin, D. Yu. Operational work of railways: axioms and patterns [Ekspluatatsionnaya rabota zheleznykh dorog: aksiomy i zakonornosti]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 330 p.
23. Levin, D. Yu. Organization of local work [Organizatsiya mestnoi raboty]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2013, 612 p.

Information about the author:

Levin, Dmitry Yu., D.Sc. (Eng), Chief expert of JSC NIIS, Moscow, Russia, levindu@yandex.ru.

Article received 21.09.2020, approved after reviewing 25.01.2021, updated 19.01.2022, accepted 24.01.2021.

Editorial note: The review article by professor, D.Sc. (Eng) Dmitry Levin is the author's generalisation presenting also a new understanding of the earlier works of the scientist. Given the author's expertise in developing the topic of railway operation, including that reflected in numerous publications, the work, in our opinion, is of great interest and practical value, especially that with the rapidly growing volumes of railway transportation, the problem of managing train formation is more than relevant.



HISTORY OF INLAND INFRASTRUCTURE

236

Emergence of rail transport and its evolution till modern times. Main milestones of rail infrastructure developments and cross-influence of economic, technical and technological processes. The final part of the article the first part of which was published in the previous issue.

GALLERY OF NAMES

242

Ivan A. Kablukov and his contribution to development of physical and chemical science. Scientific achievements and academic activities in Imperial Moscow Engineering School (now Russian University of Transport) and Moscow University.

HISTORY WHEEL



HOW THEY DID CONCEIVE BETTER MANAGEMENT OF RAILWAYS: 112 YEARS AGO

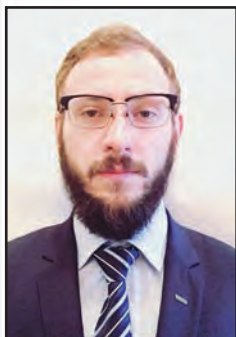
249

The second part of publication of the report of Nikolai P. Verkhovsky on the book «Railway Confusion». This part is focused on social aspects, remuneration, and labour conditions of railway workers. The final part will appear in the next issue.

**ORIGINAL ARTICLE**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-12>

The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 2



Aleksey D. Razuvaev

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ razuvaevalex@yandex.ru.

Aleksey D. RAZUVAEV

ABSTRACT

The second part of the article (the first of which was published in the last issue of the journal) analyses the history of emergence of the rail track, as well as evolution of the railway-track substructure, including a review of the materials used for this.

A separate section is devoted to evolution of railways in Russia.

Brief conclusions are made regarding the importance of the historical and economic aspects of development of inland transport infrastructure.

The importance of considering this issue is quite high when conducting comprehensive research intended to get economic assessment and forecast the strategic development of transport infrastructure.

Keywords: land transport, railways, railway infrastructure, socio-economic development, economic history, historical analysis.

For citation: Razuvaev, A. D. The History of Development of Inland Transport Infrastructure: Technology and Economic Aspects. Part 2. World of Transport and Transportation. 2022. Vol. 20. Iss. 1 (98). pp. 236–241. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-12>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

Emergence of a Rail Track and Evolution of its Substructure

The emergence of a rail track is a result of a natural evolutionary process associated with a human desire to move faster and safer, with the least energy consumption and with the ability to transport heavy cargo.

Professor K. Ya. Zagorskiy in [1, p. 10] wrote: «Land transportation requires more significant and complex devices: here, in addition to rolling stock and driving force, it is necessary to create a track itself».

The following factors became the main prerequisites for creation of a rail track (track along guides), which ultimately have a determining economic significance [2–5]:

- preventing the sinking of wheels of rolling stock (at the initial stages of track development of waggons and carts) into the ground;
- minimisation of friction forces, which means less need for the applied force (in case of metal wheels and rails).

The rail track design assumes the presence of guides: rails, runners, beds. Initially, in ancient times was the ancient Greek diolcus, a stone road for transporting ships across the Isthmus of Corinth. It was one of the prototypes of the rail track. In addition to dragging warships, merchant ships and goods were also moved along it on carts (which once again demonstrates the

economic basis for creating such a way). Some other ancient Greek stone track roads had depressions of 50 mm and a track width along the outer edges of the depressions of 1600 mm [6]. Similar stone tracks, besides Greece, were found in the central part of the European continent and in America and are structurally similar.

The significant evolutionary leap in development of the rail track is attributed to 15th–16th centuries. During that period in the mines of Germany and neighbouring geographic regions, wood guides were used. Buggies, the wheels of which were equipped with ridges (flanges), moved along them.

In some regions of England, wooden rail tracks for buggies have been known since the second half of 16th century, in 17th century they became widespread in mining areas¹ to transport coal in mines and deliver it to rivers and canals, the main transportation lines at that time, suitable for transporting bulk cargo² [7, p. 256]. The railway to transport coal on horse-drawn vehicles between the villages of Strelley and Wollaton near Nottingham, according to researchers, is

¹ History of railways in Great Britain. [Electronic resource]: <https://www.sinfin.net/railways/railhist.html>. Last accessed 11.06.2021.

² Coal Mining and Railways in the North East. [Electronic resource]: <https://englandsnortheast.co.uk/coal-railways-north-east/>. Last accessed 11.06.2021.

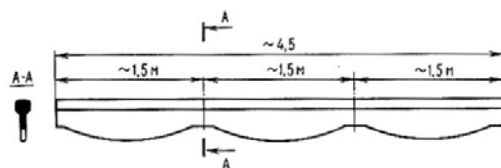


Pic. 1. Construction of the superstructure of the track "Cast iron wheel line". [Electronic resource]: <https://umcздt.ru/news/demohtml/80.html>. Last accessed 11.06.2021.





Pic. 2. Image of a wooden bench with an iron plate with a rim (corner rail). [Electronic resource]: http://www.rzd-expo.ru/history/history_of_railway_track/. Last accessed 11.06.2021.



Pic. 3. Profile view and section (A-A) of «wavy» rails. [Electronic resource]: <http://railway-transport.ru/books/item/f00/s00/z0000020/st017.html>. Last accessed 11.06.2021.

considered the first land-based railway made of wood³.

On the territory of Russia in 1755 a narrow-gauge track with wooden rails was built at the mines of Altai, along which wooden waggons with a very original system of a leading cable moved. In 1788, at Aleksandrovsky plant in Petrozavodsk, the «Cast Iron Wheel Line» appeared, this was the first industrial railway in Russia: the main shops of the cannon plant were connected by a single transport line (Pic. 1).

After a long history of construction and operation of rail tracks in mines and at factories, that is, after the period of their exclusively industrial specialisation, horse-drawn passenger roads have become widespread. It is believed that the first such rail ways were built in 1801 in England between Wandsworth and Croydon and in 1807 in Wales (Swansea and Mumbles railroad) [8].

Due to the efforts of European (mainly English) engineers, the rail track, at an early stage of its development, went through the following evolutionary stages:

1) The original design of the longitudinal wooden planks was continually improved through perfecting its geometric parameters and wear resistance. The beds themselves were reinforced with oak and then cast-iron strips (1738), and the supports were made of hard wood or stone.

2) More surface of the bed was covered with cast iron, while later, rims were added to keep the wheels in the track (Pic. 2). In parallel with the flanges, there was a design that provided a groove on the rolling surface.

3) Cast-iron rails on the crossbars created a prototype of the rail track, setting also the

standard gauge equal to 1435 mm (used in the Sheffield mines).

4) In 1820, John Birkinshaw succeeded in rolling an iron profile of rails which made it possible to increase the length of the rails by about four times. This became the beginning of creation of the railway in a literal sense. First, the rail was shaped into a beam of equal resistance in each span. Such «wavy» rails (Pic. 3) were laid on the first public steam-driven railways in England, but later due to the high cost of processing «wavy» rails, they were abandoned.

5) A further increase in bending resistance was achieved by thickening the rail at its bottom, which ultimately led to formation of the second head. Thus, in 1833, two-headed rails arose (Pic. 4).

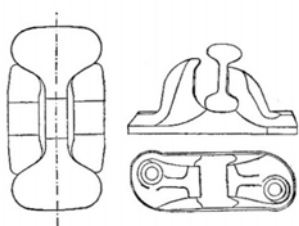
6) The next step in development of rails is creation in 1835 by R. L. Stevens of a wide-bottom rail and improvement of a wide-bottom rail with a constant profile by the American C. Vignol (Pics. 5, 6) [4; 6].

In work [2], the following periodisation of development of track structures with an emphasis on rail construction is proposed:

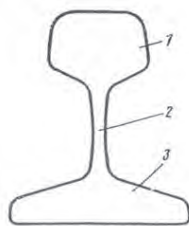
- the middle of 16th century–1788 – creation of wooden planks and iron rails;
- 1789–1865 – appearance of cast-iron rails with a pronounced head and neck;
- 1866–1903 – creation of steel rails and selection of state-owned types of rails;
- 1903–1947 – standardisation of the chemical composition of the material and the geometry of the rail profile;
- 1947–beginning of 21st century – improvement of the modern design of rails and of their manufacturing technology.

Before the advent of railway transport, land roads hardly developed. The emergence and evolution of railways gave a powerful impetus to development of land infrastructure. Then the era of George Stephenson and the fundamental transformations in rail transport accelerated

³ The Wollaton Wagonway of 1604. A Waggonway Research Circle Guide. [Electronic resource]: https://island-publishing.co.uk/WRC_mirror/woll_wag_leaflet_a4.pdf. Last accessed 11.06.2021.



Pic. 4. Sections of a double-headed rail. [Electronic resource]: <https://www.1902encyclopedia.com/R/RA/railway-27.html>. Last accessed 11.06.2021.



Pic. 5. Cross-section of a wide-bottom rail: 1 – head; 2 – neck; 3 – outsole.

evolutionary processes. The practice of implementation of projects of land transport infrastructure spread over many countries, including, inter alia, due to a favourable entrepreneurial climate, developed in a number of countries, which was supported by the emerging socio-economic institutions of property and private initiative [9].

Evolution of Track Substructure Material

The stone track roads were replaced by longitudinal beds connected by transverse beams, later called sleepers (the Russian name for them «*shpala*» comes from the Dutch *spalk* – support). So, the tree for a long time took a leading position as a material for the manufacture of sleepers. Only in the middle of 20th century, reinforced concrete sleepers began to actively displace wooden sleepers.

It is possible to note the following main milestones of further evolution.

At the end of 19th century, in France, Italy, Germany, Hungary, Russia, the USA and some other countries, the first experiments were carried out to study the possibility of operating a reinforced concrete under-rail foundation.

In Russia on Ekaterinskaya railway, built in 1882–1904, a track was tested with a monolithic concrete slab and longitudinal metal benches.

In 1886, on the Trans-Caspian railway in Central Asia, to save money, the square castings made of asphalt concrete, laid diagonally under the rails were used [4].

In 1903, the first reinforced concrete sleepers in Russia were manufactured and tested in the laboratory of St. Petersburg Institute of Railways⁴. The main imperfection of the first structures of reinforced concrete sleepers was the absence of prestressing, which was eventually solved by

installing and tensioning reinforcement inside the concrete sleepers.

In 1909, the Russian engineer N. E. Dolgov proposed a railway with a continuous monolithic reinforced concrete base for the first time and implemented it in various versions on the Dnieper Railway. Of the three versions of the structures he developed, a monolithic concrete slab was laid on the main site of the subgrade (in one of the options, a layer of crushed stone was preserved on the slab). The slabs covered the sides of the main site and formed drainage trays in the area of the ditches. Thus, the main site was completely protected from surface water penetration. The structures of N. E. Dolgov, laid in the track, had served from 22 to 40 years [10].

In a number of countries, attempts to use large-block structures continued. These include the designs of B. I. Mushkatin (USSR, 1946), Laval beds (France, 1946), original reinforced concrete beds and shells (Czechoslovakia, 1958). The track was also laid on reinforced concrete block supports in the German Democratic Republic, Poland, the Federal Republic of Germany, England, Japan, and other countries.

The retrospective and development of the track substructure are considered in more detail in the works [5; 11; 12].

Brief Technical and Economic Analysis of Development of Railways in Russia

Since ancient times in our country, when moving heavy weights, wooden rails have been used, subsequently supplemented with metal plates. Then, in 19th century, cast iron became the main material for rails.

In 1769 near St. Petersburg a special linear-extended structure was built to transport the «Thunder-stone», which later became the pedestal of the monument to Peter I.

In 1805, when the exchange was founded in St. Petersburg, a cast-iron rail road was built to transport granite stones to the construction site.

⁴ Reinforced concrete alternative. The first reinforced concrete sleepers // beteltrans.ru. [Electronic resource]: http://www.beteltrans.ru/history/history_783.html. Last accessed 01.09.2021.





Pic. 6. Wide-sole rail used on railways, respectively, on New South Wales Railway, Midland Great Western Railway, Great Western Railway. [Electronic resource]: <https://www.1902encyclopedia.com/RAI/railway-27.html>. Last accessed 11.06.2021.



Pic. 7. Pig-iron horse-drawn road in Zmeinogorsk: 1 – model of the «chugunka»; 2 – a fragment of a cast-iron rail and a bogie wheel. Zmeinogorsk «chugunka» – progenitor of Russian railways // <https://chuguntv.ru>. [Electronic resource]: <https://chuguntv.ru/zmeinogorskaya-chugunka-prarodite>. Last accessed 11.06.2021.

Similar structures and specialised auxiliary tracks were arranged during the construction of dams and other hydraulic structures [13, p. 24; 16].

«In 1806, P. K. Frolov developed and submitted to the mining department a project of a railway from Zmeinogorsk mine to Korbalkhinsky silver smelting plant. In his project, he pointed out that annually to transport ore at a distance of up to 3 km on an ordinary road, 1078 souls are required, while by rail only two people and two horses are required, who during six summer months can transport «the entire amount of ore for annual smelting». The profitability of the railway seemed so obvious that in the same year the project was approved, the author started construction and put it into operation in 1809» (Pic. 7) [13, p. 25; 14, p. 293].

The first steam-powered railway in Russia was built in 1834 at the Demidovs' Nizhny Tagil

Metallurgical Plant. And the first industrial railways were the prototype of future public railway lines [13, pp. 25–27].

The railways gave advantages, then unattainable for other types of transportation: reduction in cost and a significant increase in speed of delivery of both goods and passengers.

For development of construction of railways in Russia it was very important to create relevant economic conditions. If their construction initially developed at a slow pace and by the mid-1860s, the total length of Russian railways was only about 3,5 thousand km, about 2 % of the world network, then after the state created conditions for attracting private capital (including foreign) on the basis of concessions, and development of the railway network in the country accelerated sharply [15; 16]. K. Ya. Zagorsky noted the positive dynamics of construction of new railways in the 80s of 19th century for creation of new and development of the main branches of the national economy, the transition from extensive methods and forms of the national economy to the intensive methods of capitalist production [1, pp. 66–67; 18, pp. 162–163].

«At the end of 19th century, record rates of railway construction were achieved in Russia. In the period 1893–1900, the length of railways increased on average by almost 2,5 thousand km per year. Neither before nor after has the network developed so dynamically. On the eve of the First World War, its length was about 70 thousand km, and the density exceeded 4 km per 10 thousand inhabitants» [16, pp. 165–166].

The dynamics of railway construction in the USSR was not stable, although in terms of pace and state objectives the path of the Russian Empire continued.

At the present stage of development of railways in our country in addition to modernising old ones, it is necessary to lay new lines to economically promising regions and to connect agglomeration territories. At the same time, economically demanded scientific research and technical developments are needed for construction of high-speed railways and development of heavy-haul traffic.

CONCLUSION

The birth, evolution and development of transport, in particular of land (represented by railways) transport, is a significant economic achievement of the mankind [17].

Among the most important features, inherent in the infrastructure of land transport, from a historical and at the same time economic point of view, one can note the influence of institutions of private property on its development, state support for social significant projects, the historical continuity of the most significant historical routes («Silk Road», the way «from the Varangians to Greeks»), which determine the economic development of many regions, embodied in modern international transport corridors.

The materials of the article and the results of the conducted historical, technical, and economic analysis are the basis of one of the chapters of the monograph published during the period of preparation for printing of the second part of the journal publication [18].

REFERENCES

1. Zagorskiy, K. Ya. Transport economics [*Ekonomika transporta*]. Moscow–Leningrad, Gosizdat publ., 1930, 368 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Last accessed 01.09.2021.
2. Voronina, O. N. Development of structures of railway rails, their butt joints and processing technologies. Ph.D. (Eng) thesis [*Razvitie konstruktivnykh zheleznodorozhnykh relsov, ikh stykovykh soedinenii i tekhnologii obrabotki. Dis. kand. tekhn. nauk*]. Moscow, 2014, 228 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/voronina-o-n-razvitie-konstruktsiy-zheleznodorozhnykh-relsov-ih-stykovykh-soedineniy-i-tehnologiy-obrabotki_08a6088a5d0.html. Last accessed 01.09.2021.
3. Derry, T., Williams, T. A Brief History of Technology. Ideas, processes and devices with the help of which a person changes the environment from antiquity to the present day. Trans. from English by A. A. Ilyina. Moscow, PJSC Tsentrpoligraf, 2019, 488 p.
4. Pershin, S. P. Development of the construction and railway business on domestic railways [*Razvitie stroitel'no-putetskogo dela na otechestvennykh zheleznikh dorogakh*]. Moscow, Transport publ., 1978, 296 p. [Electronic resource]: <http://railway-transport.ru/books/item/f00/s00/z0000020/index.shtml>. Last accessed 01.09.2021.
5. Razuvaev, A. D. Assessment of the economic efficiency of construction and technical re-equipment of railway infrastructure with the use of innovative solutions [*Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti stroitel'stva i tekhnicheskogo perevozhneniya zheleznodorozhnoi infrastruktury s primeneniem innovatsionnykh reshenii. Dis. kand. ekon. nauk*]. Moscow, 2019, 148 p. [Electronic resource]: https://rut-miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?id_wm=804794. Last accessed 01.09.2021.
6. Levin, D. Yu. History of railway transport: Study guide [*Istoriya zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. posobie*].

Rostov-on-Don, Phoenix publ., 2018, 414 p. ISBN 978-5-222-28294-6.

7. Macheret, D. A., Valeev, N. A., Kudryavtseva, A. V. Formation of the railway network: diffusion of epoch-making innovation and economic growth [*Formirovaniye zheleznodorozhnoi seti: diffuziya epokhalnoi innovatsii i ekonomicheskii rost*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2018, Vol. 13, Iss. 1, pp. 252–279. DOI: 10.18288/1994-5124-2018-1-10. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32655127>. Last accessed 01.09.2021.
8. The ancestor of steel highways [*Rodonachalnitse stalnykh magistralei*]. *Rodina*, 2012, Iss. 2, pp. 89–92. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17855004>. Last accessed 01.09.2021.
9. Macheret, D. A., Kudryavtseva, A. V., Ledney, A. Yu., Chernigina, I. A. General technical and economic course of railways [*Obshchiy tekhniko-ekonomicheskii kurs zheleznikh dorog*]. Moscow, MIIT publ., 2017, 364 p. [Electronic resource]: <https://www.twirpx.club/file/3022625/>. Last accessed 01.09.2021.
10. Poltoratskiy, I. I. The Eternal Way of Engineer N. E. Dolgov [*Techiniy put' inzhenera N. E. Dolgova*]. *Zheleznodorozhniy put'*, 1932, Iss. 2, pp. 17–19.
11. Voloshko, Yu. D., Mikitenko, A. M. Rail track with block reinforced concrete supports [*Relsoviy put's blochnymi zhelezobetonnyimi oporami*]. Moscow, Transport publ., 1980, 175 p.
12. Savin, A. V. Ballastless way [*Bezballastniy put'*]. Moscow, RAS publ., 2017, 192 p. ISBN 978-5-906938-57-2. [Electronic resource]: <https://umczt.ru/read/18723/?page=1>. Last accessed 01.09.2021.
13. History of railway transport in Russia [*Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii*]. Vol. 1: 1836–1917. St. Petersburg, 1994, 336 p. [Electronic resource]: <https://tech.uch-lit.ru/transport/istoriya-zheleznodorozhnogo-transporta-rossii-tom-i>. Last accessed 01.09.2021.
14. Melnikov, A. History of the wheel. From potter's wheel to airliner landing gear [*Istoriya kolea. Ot goncharnogo kruga do shassi avialainera*]. Moscow, Tsentrpoligraf publ., 2021, 350 p. ISBN 978-5-227-09364-6.
15. Gavlin, M. L. Dynasty von Meck. «Railway kings» and patrons of the arts [*Dinastiya von Mek. «Zheleznodorozhnie koroli» i metsenaty*]. Moscow, Noviy khronograf publ., 2016, 216 p. ISBN 978-5-94881-350-9.
16. Macheret, D. A. Economic notes on domestic railways [*Ekonomicheskie zapiski ob otechestvennykh zheleznikh dorogakh*]. *Otechestvennye zapiski*, 2013, Iss. 3 (54), pp. 162–178. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21218771>. Last accessed 01.09.2021.
17. Macheret, D. A., Valeev, N. A., Kudryavtseva, A. V. [et al]. Technical and economic assessment of creation and operation of transport infrastructure: Study guide [*Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka sozdaniya i ekspluatatsii transportnoi infrastruktury: Ucheb. posobie*]. Ed. by D. A. Macheret. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2019, 326 p. [Electronic resource]: <https://www.twirpx.club/file/2877414/>. Last accessed 01.09.2021.
18. Razuvaev, A. D. Economic evaluation of creation, evolution and strategic development of transport infrastructure (on the example of railway transport): Monograph [*Ekonomicheskaya otsenka sozdaniya, evolyutsii i strategicheskogo razvitiya transportnoi infrastruktury (na primere zheleznodorozhnogo transporta): Monografiya*]. Moscow, Prometheus publ., 2021, 286 p. ISBN 978-5-00172-251-9.

Information about the author:

Razuvaev, Aleksey D., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Economics of Transport Infrastructure and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, razuvaevalex@yandex.ru.

Article received 11.06.2021, approved 06.09.2021, revised 17.02.2022, accepted 22.10.2021/21.02.2022.





REVIEW ARTICLE

DOI: doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-13

Chemist, Practitioner, Teacher... Ivan Alekseevich Kablukov (1857–1942)



Nikolay D. Grigoriev

Ph.D. (Eng), Moscow, Russia.

✉ 9165688074@yandex.ru.

Nikolay D. GRIGORIEV

ABSTRACT

2022 marks the 165th anniversary of the birth of the outstanding Russian scientist Ivan Alekseevich Kablukov. The main field of scientific interests and discoveries of Academician Kablukov relates to electrochemistry of non-aqueous solutions. I. A. Kablukov is also known as a teacher and populariser of science, the founder of the school of physical chemists in Russia, as the author of a number of works on the history of chemistry.

In 1896, at the Moscow Imperial Engineering School of the Department of Railways (now Russian University of Transport), Kablukov founded the Department of Chemistry, which he led for a long time. In total, Kablukov's scientific heritage includes more than three hundred works.

Corresponding Member of the Academy of Sciences of the USSR (1928), Honorary Member of the Academy of Sciences of the USSR (1932), Honorary Member of the Society of Lovers of Natural Science, Anthropology and Ethnography (since 1921), Member of Russian Physico-Chemical Society, Society for Acclimatisation of Animals and Plants (since 1898), All-Union Chemical Society n.a. D. I. Mendeleev (in 1934 he was elected vice-president of Moscow branch of AUCS) and many other scientific societies. Honoured Professor of Moscow University (since 1910).

I. A. Kablukov owns fundamental work on the theory of solutions, thermochemistry, and processing of mineral raw materials into fertilisers. He was an outstanding teacher.

Keywords: I. A. Kablukov, history of chemistry, theory of solutions, organic chemistry, physical chemistry, thermochemistry, salt equilibria, electrochemistry of non-aqueous solutions, solvation theory, transport education history.

For citation: Grigoriev, N. D. Chemist, Practitioner, Teacher... Ivan Alekseevich Kablukov (1857–1942). World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-13>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

In Moscow region, not far from the famous Pirogovo, there is a small village of Prussy. It was there that on September 2, 1857, a boy was born in the family of the former serf Alexey Fedorovich Kablukov. His father, Alexey Kablukov, served as a dentist for a local landowner. On this occasion, Ivan Alekseevich wrote: «Perhaps they will think that my father studied at some medical institute. No. Then we had no idea about dental schools. Everything happened simply – the master identified my father as a courtyard servant, so he learned his future art in the manor's house. And then the master let him go – my father was one of the freedmen. In 1841, as I recall, he took the exam for the title of dentist. That's all...» [1].

Ivan Kablukov always spoke of his parents with love, respect and dedicated his doctoral dissertation to them: «My father had no education. Mother was more educated. She taught me to read and write. And they both worked, both were healthy and they gave me good health. I have been living for so long, and my teeth, – he opened his mouth with a smile, – are all intact» [1].

At the age of nine, Ivan Kablukov entered the second Moscow gymnasium. Studying was mainly paid for by older brothers. After graduating from the gymnasium, Ivan Alekseevich entered Moscow University's Natural Department of the Faculty of Physics and Mathematics: «I will never forget the day when, in September 1876, in a shabby coat that passed to me from the shoulders

of my older brother, I went as a student to Moscow University for the first time. I thought that the people I met should have envied me: I am a student at Moscow University» [1; 2].

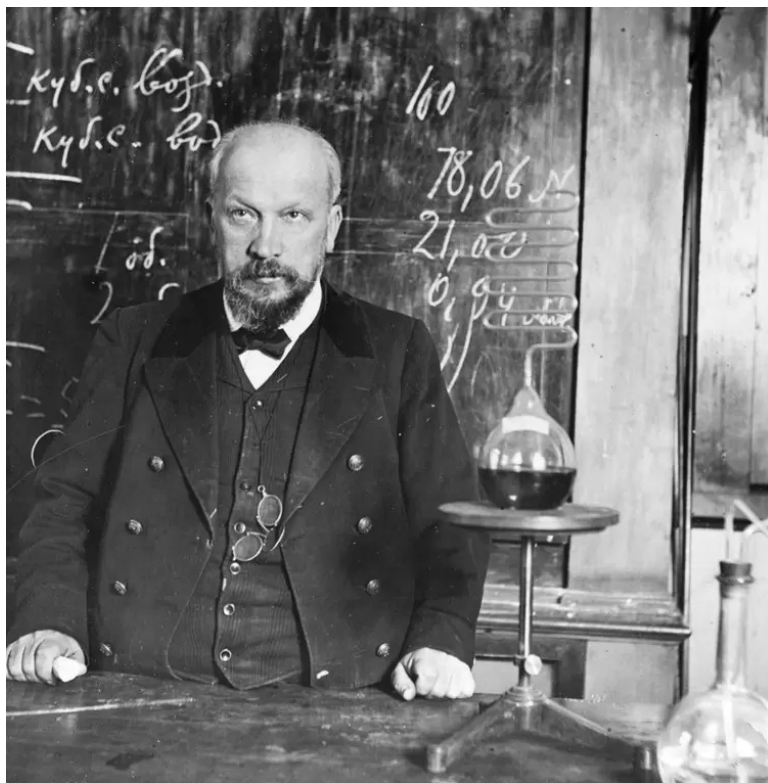
During his second study year, student Kablukov decided to do science. At first, there were experiments in the field of zoology. Then the sophomore Kablukov decided to try himself in the laboratory of V. V. Markovnikov. Moreover, already in 1879, at the congress of natural scientists and doctors in St. Petersburg (chemical section), Markovnikov made a presentation on the topic «Obtaining esters of hexyl glycerin», where student Ivan Kablukov was listed as a co-author. Therefore, the future scientist considered this year the beginning of his scientific career. A little later, he wrote his first monograph «Polyhydric alcohols in connection with the nearest derivatives». In the year of graduation from the university (1880) he will be awarded a gold medal for this work, and at the suggestion of Markovnikov, he will be left at the university to prepare for a professorship. A year later, Kablukov was sent to St. Petersburg University, to Professor A. M. Butlerov. There they will conduct experiments on production of formaldehyde using a new method proposed by Kablukov. At present, this method is close to the factory method for obtaining formalin used in medicine, agronomy, and other fields. During this trip, the scientist listened to lectures by the famous Butlerov, Mendeleev, Menshutkin, Lyubavin...

Returning from St. Petersburg, Kablukov passed the exams, received a master's degree in



Ivan Alekseevich Kablukov (August 21 (September 2), 1857 – May 5, 1942). Hereinafter photos are retrieved from the Internet page of the Department of Chemistry and Engineering Ecology of Russian University of Transport (MIIT). [Electronic resource]: <http://www.ecomiit.ru/istoriya-kafedry/kablukov/>. Last accessed 18.02.2022.





chemistry and continued to work in Markovnikov's laboratory. In 1887, Ivan Alekseevich defended his thesis «Glycerols, or trihydric alcohols and their derivatives». The work was dedicated to Alexander Butlerov, who had died in 1886.

SCIENTIFIC AND TEACHING ACTIVITIES OF I. A. KABLUKOV

In 1889, the young scientist was sent to Leipzig to the laboratory of the future Nobel laureates W. Ostwald and S. Arrhenius, where he worked on electrical conductivity of solutions. Returning from there, Ivan Alekseevich continued his teaching activities.

The scientific work of Kablukov in those years developed in three directions:

1. The study of organic chemistry.
2. The study of physical chemistry, «especially the question of electrical conductivity, vapour pressure of aqueous and other solutions, thermochemistry, salt equilibria».
3. Chemistry of honey and wax.

During those years, Kablukov wrote about two hundred works, most of which were related to development of industry.

Relatively speaking, the theory of solutions can be divided into two areas: physical-mechanical and chemical. Both directions have always

existed in parallel, «without interfering with each other». But at the end of 19th century, they sharply collided. This was especially facilitated by the scientific activity of the first Nobel Prize winner in chemistry, the Dutch scientist Jacobus Henricus van't Hoff.

Ivan Kablukov, unlike many, considered solutions as «systems that have completely new properties». And these new properties, according to the scientist, were not at all inherent in «none of the bodies forming it». This idea of Kablukov was to create a «bridge» between the physical theory of van't Hoff and the hydrate theory of Dmitry Mendeleev. It is this idea that will form the basis of the modern understanding of solutions in the future [3–4].

In Western Europe, scientists in those years studied only aqueous solutions. Non-aqueous were considered non-ionising. It was Russian scientists who were the first to study the electrochemistry of non-aqueous solutions. Kablukov was especially successful in this, he first established (1889), that some non-aqueous solutions do not obey the Arronius theory. It was he who proved that, for example, «hydrogen chloride in ethyl and amyl alcohols, when diluted, does not increase, but reduces the molecular electrical conductivity». His doctoral thesis on the theory of solutions was the first Russian fundamental



work on this topic. It followed from his thesis that physical and chemical theories do not exclude each other, but go, as they say, hand in hand. In connection with later discoveries in modern chemistry, Kablukov's theory, called the «solvation theory» [3], has taken its rightful place in the modern theory of solutions.

WORK AT IMPERIAL MOSCOW ENGINEERING SCHOOL

In 1895, Kablukov's second trip abroad took him to France, Holland and Switzerland, where he adopted the experience of «using lecture demonstrations and organising museum collections for teaching purposes». He mastered experimental methods of teaching chemistry, which were studied while visiting laboratories at universities and high schools. He also mastered the practical applications of achievements of chemical science, being interested in the chemical processing of mineral raw materials and physical and chemical aspects of production processes when inspecting factories and mines.

After defending his thesis, Ivan Kablukov continued his scientific work and teaching. In 1896, in the newly opened Moscow Imperial Engineering School of the Department of Railways (now Russian University of Transport), Kablukov founded the Department of Chemistry [5; 6], where he conducted classes in inorganic and analytical chemistry, building materials technology and iron metallurgy on the basis of foreign teaching methodology and own developed program. The chemical building was built in 1898 according to the project of the architect Kitner with participation of Kablukov. Lecture and laboratory audiences corresponded to the

curriculum and were modelled after the Ostwald laboratory in Leipzig, personally equipped by Kablukov with equipment, very advanced for that time: instruments, reagents, consumables, chemical glassware and preparations purchased from German firms. Gas and water were supplied to the laboratory, individual fume hoods were equipped. The building was equipped with a system of interfloor lifts for dishes and laboratory preparations.

In 1900, based on the experience of teaching chemistry at the school, Ivan Alekseevich published the textbook «Basic Principles of Inorganic Chemistry» [7], which was recommended as the main textbook at Moscow University. The textbook contains a lot of information related to practical applications of chemistry and production technologies. For example, when presenting the topic «Air», the author proposes for consideration an experiment that describes diffusion of air through the walls of a building. The material on iron is accompanied by a story about the methods of casting steel and iron used at that time. The textbook contains illustrations of factory settings, descriptions of materials, and a demonstration collection he has assembled.

In the engineering school, Kablukov worked as the head of the department of «Chemistry» until 1903 (according to other sources until 1904). At the entrance, on the right side on the wall of the building of the educational building No. 5 (Obraztsova str., 9, build 9) a memorial plaque was installed at Russian University of Transport, and the chemical laboratory on the second floor bears the name of a famous chemist.

Professor Kablukov during those years invented a special open laboratory vessel with a





coil, the liquid in which can be stored without spoiling and almost evaporating. 125 years ago (November 8, 1897) Ivan Alekseevich poured chicken broth into a flask, which is currently a monument of science. This flask is exhibited in the Museum of the History of Russian University of Transport (educational building No. 1, room No. 1149) (water is periodically added to it). On the basis of certificate No. 800 issued by the Expert Council at the Polytechnic Museum of Moscow (protocol No. 16 of November 15, 2007), it was recognised as a monument of science and technology of the First category. Therefore, this museum object is a cultural national achievement of Russia.

Everything connected with the name of Ivan Kablukov is still carefully stored within the walls of RUT: a collection of chemical glassware, pure substances and minerals, collected by him at leading European chemical plants and universities, dissertations of his students, made in the laboratories of the department «Chemistry» he created. And the laboratories of the department themselves keep the memory of their creator.

Today, in the «Chemical Laboratory named after I. A. Kablukov» (auditorium 5203), partially preserved, partially recreated according to old projects and modernised to meet the latest requirements of time and science, RUT students listen and «watch» lectures on chemical disciplines.

Ivan Alekseevich's study (room 5202) adjoins this «historical» laboratory. Here, as well as more than a hundred years ago, there is his large carved desk, bookcases, fume hood and laboratory cabinets, a long preparation table, on which re-

agents for lecture demonstrations have been prepared for the second century. Also in the office, a «place of honour» is occupied by a huge oak cabinet-showcase with a collection of chemicals of that time and «new things» in the form of a new collection of metals, crystals and dishes. Teachers still use this collection for lecture experiments. Tables of atomic spectra, brought by Kablukov from Germany, hang on the walls.

Perhaps, as a lecturer, Ivan Kablukov was not «the most brilliant example» and, perhaps, was inferior in this respect to many of his contemporaries, but his audience, even with optional attendance at lectures, was always overcrowded.

The reason was that the teacher Kablukov never gave knowledge «in finished form, in their final, generally accepted version». He always «drew» the process in development: from the moment the idea itself appeared in its original form to its modern execution. He always urged to remember the «imperfection of the form of the birth of scientific truth».

«A person currently living in comfortable and beautiful high-rise buildings in the city should always remember with gratitude that primitive hut, that cave that sheltered our distant ancestors from the weather and helped them escape from the primitive state» (from the notes of a student from one of the lectures of Kablukov at Timiryazev Academy).

Of course, every student wants to listen to lectures by real, great scientists, to which Ivan Kablukov undoubtedly belonged. But they say that when Kablukov began to talk about the famous Zinin, Butlerov or Mendeleev, with whom he was personally acquainted, not only their great scientific discoveries loomed before the hushed audience... Ivan Alekseevich's lectures were always distinguished by very personal «Kablukov's phrases» and sweet humour. In the lectures there was a place for unsuccessful experiments and theories, which, with the comments of the scientist, sometimes turned out to be more instructive than successful ones. This peculiar manner of communication gave rise to many good-natured «Kablukov's» jokes and anecdotes among students and colleagues.

EDUCATOR, RESEARCHER, ORGANISER OF SCIENCE

Ivan Kablukov travelled a lot in Russia and Western Europe to get acquainted with natural resources (salt lakes, oil deposits, etc.): «Now

I'm like a sponge, I'm in a hurry to take in myself as much as possible so that later I can get more out of me squeeze out» [8], – he wrote to his parents from his first trip to the Urals (1887). Actually, the trait of «sharing everything» (be it knowledge or impressions) is the main one in his character.

During these trips, he visited factories and plants, mines and laboratories, educational institutions, and did not forget about local museums, art galleries, exhibitions, theatres, concerts.

An important direction in the activities of Kablukov was the study of the natural resources of our country. He did not divide science «into pure and applied», but believed that «there is science and its practical application». For example, domestic production of mineral fertilisers owes its appearance to Kablukov.

In August 1895, at the congress of the French Association of Sciences in Bordeaux, the 38-year-old Russian chemist Ivan Kablukov was elected honorary chairman of the chemical section.

In 1899, he was elected an adjunct professor at the department of inorganic chemistry at the Moscow Agricultural Institute (now Timiryazev Academy), where he would work until the end of his life. In May 1903, Ivan Alekseevich became an extraordinary (freelance) professor at the Department of Inorganic Chemistry at Moscow University and already in 1906 – an ordinary (full-time) professor.

In 1907, Professor Kablukov published the pamphlet «The Newest Theory of the Structure of Atoms» and published an article on the same topic in the journal «Russian Thought». True to his calling as an educator in the broad strata of Russian society, in 1914 he published his book «Essay on development of our knowledge about the structure of matter», in which figuratively and in an accessible way «paints a picture» of how the ideas of scientists about the structure of matter changed.

In 1912, Kablukov went to the Eighth International Congress on Applied Chemistry in the USA. In America, he is also very interested in organisation of chemical laboratories. He visits research institutes, industrial enterprises, uranium ore deposits, educational institutions, museums, apiaries.

In 1913, Ivan Alekseevich organised research in the chemistry of radioactive elements at Moscow University, having purchased the necessary equipment for this purpose abroad. This marked



the beginning of research in the chemistry of radioactive elements.

In 1915, he became the head of the only thermochemical laboratory in our country (now the laboratory named after prof. V. F. Luginin), which Kablukov led until 1933. In 1928, the USSR Academy of Sciences elected him a corresponding member. Despite being very busy, I. A. Kablukov finds time to continue creating his scientific work in the field of solutions, thermochemistry and inorganic chemistry. He writes about 120 articles for the encyclopedic dictionary of the Granat brothers, publishes works on the activities of outstanding chemists of the past.

Ivan Alekseevich Kablukov is the author of numerous textbooks on various branches of chemistry. They were created by the scientist in preparation for the lectures he gave at various higher educational institutions. The most important, undoubtedly, are and will be considered his manual «Basic Principles of Inorganic Chemistry», the first edition of which was published in 1900, and the last (13th) in 1936. Each subsequent reprint, in comparison with the previous one, was improved, supplemented, becoming at the level of science of its time. The actual material of inorganic chemistry received physico-chemical illumination in it. Tens of thousands of chemists studied according to this manual [9]. For many years (1900–1934) I. A. Kablukov worked on the course «Basic Principles of Physical Chemistry», publishing it in separate issues on the main sec-



tions of the discipline. This course also played its main role in chemistry education in the USSR, especially since for a long time it remained the only one in Russian [10].

In 1940, with participation of associate professor V. A. Polosin, Kablukov published his last work «Course of Lectures on Inorganic Chemistry». In the preface to it, Ivan Alekseevich writes: «As I approach the end of my activity, I would like to share my experience as a teacher and publish lectures on chemistry that I have been reading for a number of years» [11].

In July 1940, I. A. Kablukov fell seriously ill and after the operation could not get on his feet for a long time. In October 1941, Timiryazev Academy was evacuated to Central Asia, and Ivan Alekseevich also had to agree to leave Moscow. The Uzbekistan government showed exceptional attention to I. A. Kablukov, meeting him with great love and providing him with an apartment, thorough medical care in the capital of the republic. But on May 5, 1942, Ivan Kablukov died. He is buried in Tashkent. One of the streets of the city is named after him. A portrait of the great chemist is exhibited in the portrait gallery of the Faculty of Chemistry of the National University of Uzbekistan.

Ivan Alekseevich Kablukov was famous for his amazing sense of humour, which he retained until the last days of his life. In the spring of 1942, in Kazan, where chemists who worked at the Academy of Sciences were evacuated, a rumour spread that the great Kablukov had died in Tashkent. They urgently called a mourning event, noted the merits of the scientist to the party and the people, and sent an obituary to the journal *Izvestia of the Academy of Sciences*. A few days later, Kazan received a telegram from Tashkent: «I found out about your meeting, please send the minutes. Kablukov». Unfortunately, immediately after this telegram, Academician Kablukov passed away. In Kazan, they did not even have time to remove the erroneous obituary from the journal – and so it came out, written in advance.

«Great people die, but their creations live and teach us a lot...» [12] – this is how Ivan Alekseevich Kablukov wrote about Mendeleev. These

words can be fully attributed to Ivan Alekseevich himself, the great chemist, practitioner, and teacher.

REFERENCES

1. Bogatova, T. V. Kablukov Ivan Alekseevich. New Russian Encyclopedia, Vol. VII (1). Ch. ed. A. D. Nekipelov, Moscow, Encyclopedia publ., 2010, p. 429.
2. Zefirova, O. N. Ivan Alekseevich Kablukov. Materials for the bibliography of scientists of the USSR. Chemical Sciences Series, 1957, Iss. 24, 59 p.
3. Kablukov Ivan Alekseevich. Railway transport: encyclopedia, Ch. ed. N. S. Kanarev, Moscow, Scientific publishing house «Big Russian Encyclopedia», 1994, p. 547.
4. Shits, L. A. Solvation [*Solvatatsiya*]. Great Soviet Encyclopedia, Vol. 24. Ch. ed. A. M. Prokhorov, Moscow, Soviet Encyclopedia, 1976, p. 164.
5. Mishustin, A. I. Electrolytic dissociation [*Elektroliticheskaya dissotsiatsiya*]. Great Soviet Encyclopedia, Vol. 30. Ch. ed. A. M. Prokhorov, Moscow, Soviet Encyclopedia, 1978, pp. 62–63.
6. Handbook of chemistry for applicants to universities. Under the general. ed. A. G. Pilipenko, Kiev, Naukova Dumka publ., 1972, 408 p.
7. Minin, G. A., Apattsev, V. I. Moscow Institute of Railway Engineers (MIIT). Railway transport: encyclopedia, Ch. ed. N. S. Kanarev, Moscow, Scientific publishing house «Great Russian Encyclopedia», 1994, pp. 340–341.
8. Kablukov Ivan Alekseevich. Great Soviet Encyclopedia, Vol. 11. Ch. ed. A. M. Prokhorov, Moscow, Soviet Encyclopedia, 1973, p. 102.
9. Kablukov, I. A. Basic Principles of Inorganic Chemistry [*Osnovnie nachala neorganicheskoi khimii*]. Moscow, Engineering School of the Department of Railways, 1900, 310 p.
10. Kablukov, I. A. Physical and colloidal chemistry [*Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya*]. Moscow, Selkhozgiz publ., 1935, 558 p.
11. Kablukov, I. A. Course of lectures on inorganic chemistry [*Kurs lektsii po neorganicheskoi khimii*]. Moscow, Selkhozgiz publ., 1940, 320 p.
12. Kablukov I. A. Mendeleev. Encyclopedic Dictionary, Ed. 7th, Vol. 28, Brothers Granat, Stb. 426.
13. Kablukov Ivan Alekseevich. Great Soviet Encyclopedia, Vol. 19. Ch. ed. B. A. Vvedensky, Moscow, State scientific publishing house «Great Soviet Encyclopedia», 1953, pp. 234–235.
14. Kablukov Ivan Alekseevich. Soviet Encyclopedic Dictionary, Ch. ed. A. M. Prokhorov, Moscow, Soviet Encyclopedia, 1985, p. 1600.
15. Solovyov, Yu. I., Kablukova, M. I., Kolesnikov, E. V. Ivan Alekseevich Kablukov: One hundred years since the birth. 1857–1957. Moscow, Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1957, 211 p.
16. Kablukov Ivan Alekseevich. *MIIT at the turn of the century*. Moscow, 2002, p. 372.
17. Rice, R. E. Hydrating ions in St. Petersburg and Moscow; ignoring them in Leipzig and Baltimore. *Bulletin for the History of Chemistry*, 2002, Vol. 27, No. 1, pp. 17–25. [Electronic resource]:
http://acshist.scs.illinois.edu/bulletin_open_access/FullIssues/Vol27-1.pdf. Last accessed 18.02.2022. ●

Information about the author:

Grigoriev, Nikolay D., Ph.D. (Eng), Moscow, Russia, 9165688074@yandex.ru.

Article received 23.03.2019, approved 17.06.2021, revised 09.12.2021, accepted 18.02.2022.



About the Book «Railway Confusion» by N. P. Verkhovsky. Part 2



News from the archives

In 1910 the experienced railway manager Nikolai Petrovich Verkhovsky presented in the VIII Department of the Imperial Russian Technical Society his book «Railway Confusion» dedicated to the comprehensive solution of a wide range of pressing issues of organising the work of railways. The report presented by him, in fact, was a detailed and accentuated presentation of its content. The first part, published in the previous issue of *World of Transport and Transportation* (Vol. 19, Iss. 6), focused on the author's opinion on the educational and professional trajectory of engineers and railroad managers.

The emphasis in the second part, published in this issue, is on social work (housing), rail employment of women, primarily the wives of former railway workers.

Special sections of the report are devoted to the policy of railways in the field of remuneration, working hours for certain categories of workers, as well as social insurance and pensions.

Some thoughts are still relevant, if not in terms of practical implementation, then in terms of the importance of the considered components of social policy.

Punctuation and vocabulary of the author are preserved in the text as much as possible.

The final part of the publication will be in the next issues of the journal.

Keywords: history, Russian railways, education, staff management, high schools, universities, children and youth police, railways social policy, career, skills.

Part 2 (first part: *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 6).

Living spaces

My report would suffer from a major gap if I, having received such a practical acquaintance with all the details of the life of employees on the roads, did not mention one of the main topics of the day for all employees, or at least most of

them. A topical and acute issue is the housing issue.

The railway service makes serious demands on its agents, but before demanding work and business from them, it is necessary to put them in the position of a possibly tolerable existence.

In the mass of heterogeneous climates of our vast homeland, either severe cold and winds, or

For citation: About the Book «Railway Confusion» by N. P. Verkhovsky. Part 2. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 249–258. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-14>.

Acknowledgements. The editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the material.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

terrible heat, mainly prevail. Both require, for possible compensation of atmospheric influences, appropriate dwellings. In no other branch of railway business are local conditions so little taken into account as in the field of housing. This happens mainly because, as it seems to me, the roads are being built by engineers and technicians who are completely unwilling to get acquainted with the local conditions along which the new rail track will pass.

With regard to housing, two defects are allowed during construction of the road: construction of buildings that do not correspond to local conditions and, in quantitative terms, is inappropriate for the service personnel necessary for conducting operational business. The design never takes into account the needs of operation, either technically or in terms of the number of personnel.

The railway must take every measure to create living quarters as soon as possible so that the number of these unfortunate victims is as small as possible. Hair stands on end, listening to the stories of the wives of unfortunate workers, watchmen and switchmen about the hardships of such housing. In the first years of their resettlement, a lot is written and said about the unsightly housing of the settlers, but no one will think about the unfortunate lower railway brethren.

Railway construction. «All the perks given to employees to facilitate their construction are not great enough to move this business forward. The rules of private construction, approved on January 31, 1903, were extended only to the Siberian, Trans-Baikal and Ussuri roads, and employees of other roads were given only benefits for cheaper transportation of material for construction and for obtaining loans for construction from pension capital.

The work of building employees on state-owned land is progressing very poorly so far. One of the main obstacles is the need, upon leaving the service, to part with such a building. Everyone, in making a nest for himself, strives to provide himself with a decent dwelling during his service on the road and at the same time create for himself a corner for calming his old age. The latter is impossible, which is why the incentive to create house-building is rather shaky, and everyone, or at least many, are forced to reckon with it.

Things go better when building houses on private land, but here another difficulty arises –

this is the huge appetites of the owners of private land adjacent to the railway. For the concession to the ownership of land convenient for building, which is often even empty, without bringing any income, the owners demand sums that take employees out of their modest budget. Land has to be purchased away from the roadbed.

Not only the treasury, but also the boards of private roads impose the same requirements on such housing construction – on demolition of buildings in the event of death or departure from the service of the owner of the building, and in essence, strictly speaking, such requirements included in the rules for private construction of employees cannot but be recognized as solid, otherwise, in the end, circumstances may develop in such a way that all free railway sections will be occupied by private individuals, former employees, but no longer employees on the road, and new employees will not be able to build their own houses for their own residence, therefore, an event that facilitates existence employees, will lose all meaning.

The lack of housing for employees is felt along all railway lines, but new roads especially suffer from it, mainly roads that pass through remote areas and develop their own freight traffic. Roads such as the Siberian, Trans-Baikal, and Tashkent roads were built on the assumption of significantly less freight traffic and fewer employees. The increase in traffic and strengthening of personnel, naturally, outstripped construction of houses, since these roads pass through remote areas, especially Tashkent, passing almost 600 versts through a waterless and deserted desert, then the employees had absolutely no opportunity to fit anywhere without participation of the railway department. In such cases, the roads usually at first satisfy the need for housing by appointing freight cars for it. Settling employees with their families in freight cars, in the form of temporary accommodation in anticipation of a loan for construction of barracks or residential buildings; at the same time, the premises are given both for employees who have the right to an apartment, and for those who do not, in view of the impossibility of obtaining premises anywhere. But loans are difficult to resolve.

It all depends on the size of the loans issued. Credits are not issued because large sums are needed for this subject, due to expensive state-owned buildings. In view of such considerations, it is necessary to start building cheap fire-

resistant adobe, adobe and chamur buildings on the railways.

In order to implement this idea, I submitted to the Minister of Railways in June 1909 a memorandum on the use of adobe and chamur buildings on railways, which I know personally and practically. Mr. Minister favorably reacted to this note and proposed to include the question raised by me in the program of studies of 27th Consultative Congress of Track Engineers, which was convened on November 20 in Kyiv.

Having considered this issue, the Congress decided – to allow the use of this system of cheap buildings in areas where there is material for such buildings, and if their repair does not cost more than the repair of current buildings.

In addition, the Minister instructed the Riga–Oryol and Moscow–Brest roads to carry out a trial construction on their own roads.

Land areas. – Speaking of outbuildings for livestock and food storage, it is necessary to mention land.

This question is also not settled, as it is common for all roads. Some roads have established rules for division of station land between services, while others have left the land issue to its own devices. In the latter case, there are constant disputes and quarrels between employees.

Station areas, with the exception of large city stations, often have a lot of free land, not occupied by tracks, buildings and warehouses, and it is this that serves to possibly satisfy the agricultural needs of railway employees.

In addition to the station territories, a huge amount of free land is available on the hauls between stations.

The land question in itself is by no means so small as to be overlooked, especially in the present utilitarian mood of the Ministry. With 60000 versts of railway lines and alienation of an average of 20 sazhen wide strip of land under the road, and sometimes the width reaches 60 or more sazhen, the total area of land occupied by roads is not less than 250 thousand acres. It is worth thinking about the proper use of such an area in the interests of employees, and, consequently, roads.

Moral amusements. – Satisfaction on railway lines with the mental life of employees alone is not enough; moral amusements must also be considered.

«Cause is time, and fun is an hour», the Quietest Moscow Tsar used to say to us.

Employees who have worked hard should be given the opportunity to have fun, but even this requires funds, and voluntary donations from the employees themselves are not enough: they need allowances from the treasury and the board and the initiative of senior employees who have musical and stage talents and who can take on formation of musical and theater circles.

Credit institutions. – One of the main evils that undermine the financial condition of railway workers is the need, in difficult domestic financial difficulties, to resort to loans from outsiders. Bills of exchange, usually issued in double amounts, paid at usurious interest, and, if urgent repayment is impossible, triple the currency, not only ruin the employees and involve them in bondage, but often even force them to resort to abuses in order to in some way postpone the inevitable catastrophe.

On some roads there are cash desks for services, or even a general mutual aid, savings, savings and mutual credit fund, from which loans are issued on mutual guarantee.

These financial measures, initiated by individuals who care about the welfare of their associates and junior employees, should be disseminated in the railway world in all forms, having developed suitable charters for them, which would be known to all employees.

Financial self-help is an essentially useful activity that at the same time develops in employees the habit of thrift and mutual assistance.

The authorities of the road should not adhere to the economic theory – *«laissez faire, – laissez passer»*, so that everything will form somehow – by itself. It must show activity in the common interests of the cause and employees. The administration of the roads, for its part, must exaggerate the authorities of individual roads and assist in the publication and dissemination of normal statutes of cash desks.

Women's work on the roads

Women's work on railways is such a serious issue that it has to be reckoned with. In this regard, the Department of Railways deserved the palm of all departments. In none of them is women's labor placed in such an exceptionally favorable position.

The feminist question, in the sense of labor, is practically solved on the railways. This is a great merit not only to the fair sex, but also to the state. The mass of orphans, girls and wives



of former railway employees who died on the roads, and left their families without any material support, are despised by the railways. Otherwise, they would have been thrown into the streets and burdened the state with their proletarian condition. They are contemplated not by charity, but by utilization of their own labor. This work enables them to exist on their own, raise the remaining children, sisters, brothers and support elderly parents.

In addition, a lot of wives and daughters of employees serve on the roads, facilitating the work of their fathers and husbands, and contributing to the household purse.

Regardless of this, the physical labor of women has a significant use on the railways in the positions of barrier guards, house cleaners at people's latrines, wipers and scrubbers.

The quality of women's work. – In turn, women, in addition to labor, which, according to the reviews of all railway workers, in most cases, is more distinct and conscientious than men in homogeneous areas, – they introduced an ennobling element into the environment of offices and the male population, in the sense of softening the morals and improving the morals of serving youth. The presence of women in the service restrains men from some of the excesses of frivolity and rudeness of language allowed in their absence. Although this is not a direct, but an indirect merit, nevertheless, its results bear valuable fruits in the field of improving the moral qualities of employees on the roads.

As for their labor itself, it is most applicable, for the benefit of the cause and most suitable for the women themselves, in the following services and positions: in the collection service for accounting for transportation of goods, in the statistics of the traffic and traction service, in accounting for the mileage of cars and steam locomotives, in libraries, pharmacies, hospitals, lower schools, in all offices for working on typewriters, as well as on telegraph devices. At ticket offices, it is also better to have cashiers who are more accurate than cashiers and never run the risk of doing abuse.

Women's labor has been introduced to the railways for a long time, as a single phenomenon, and only in the last ten years has it already become massive on all roads, except for the Warsaw–Vienna, where it is completely inapplicable.

Granting the right to work exclusively to women of the railway circle. – In this, of course,

one cannot see anything bad, reprehensible, but what else should be introduced is the extension of the right to serve women on railways exclusively to persons having been belonged or belonging to railway personnel. At present, there is a significant contingent of daughters of employees who have graduated from gymnasiums and institutes, and who are unable to join the railways due to lack of vacant places within the percentage rate. Railways in their internal organization should exclusively serve as a refuge and labor market for those women whose husbands, sons, brothers, sisters, fathers and mothers have worked and are working on the roads. The admission of women outsiders for the road should be unconditionally prohibited.

Railway caste. – With regard to personnel, railways should form a special caste of railway workers and take into their service not only predominantly, but exclusively, children of railway employees of various generations. The railway caste has now grown so widely that it is not uncommon to find two generations of adults in the service, and the third generation of teenagers preparing themselves for the same work.

This can serve as one of the serious incentives for formation of a cadre of good employees who value their service and organically enter into the interests of the road. The youth who have grown up on the road, who have managed to educate it morally, will naturally become related to the road and its interests and, having become its agents, will no doubt be efficient servants, especially if they have to start the service in their own family, and under its supervision.

In fact, society itself has long been accustomed to considering the railway circle as a special caste, why the recognition of the right to existence of such a caste will not present anything strange and will not change in any way the mutual, vital, social relations of the railways to the population.

Study of women's work on the railways. – The women's issue on the railways is an issue completely unexplored, almost obscure, like many of our important issues. I wanted to diversify it by undertaking a *con amore* study of it, with the consent of the Railroad Administration. But nothing came of this encroachment to serve the women's issue in the railway business. The wind blew from the other side, and the Railway Administration did not wish to continue my research.

The work of railway employees, its normalization, bonuses, remuneration, the issuance of awards and benefits

Type of labor. – With regard to distribution, normalization and remuneration of labor, there is still a lot to be done, since it is impossible to rest on normalization and remuneration that have been established at the present time.

Railway labor is sharply divided into two parts:

1) Work in departments and their offices.

2) Work on the line.

Work in the departments. – Work in departments is not regulated and not standardized by instructions from above. This is the home business of every department.

Ordinarily employees of the department work from 9 am to 3 pm, or from 10 am to 4 pm. In my opinion, this is too much grace period, especially taking into account three circumstances: first, that all employees usually leave punctually at the time appointed for the end of classes, hurrying to leave the administration building, as if afraid to give the road an extra minute of their time; another, that the employees never come exactly at the appointed hour for beginning of classes, often being late even up to one hour; thirdly, that during the working period a lot of time is spent talking, drinking tea and smoking tobacco, so that no one works a full six hours. Six hours of labor, i.e. the fourth part of the day – this is a very short period, at a time when the shortest duration of service along the line is 12 hours, and in the increased movement of goods and passengers – employees have, willy-nilly, to violate this norm and often work until 16 and 18 hours, and even 24 hours, but for train and conductor crews, in the winter season during snowstorms, and for a longer period.

Why does it seem to me quite possible to bring the working hours of office workers to 8 hours a day. Such an event, although it cannot cause a decrease in the number of employees, since it increases the number of working hours ($2304 - 1728 = 576$) only for the half-year work of one employee, but it increases productivity of all employees.

Line work. – The work of line agents, whose activities are associated with movement of trains (excluding reserve agents), in order to avoid overwork, is rationed in detail, and at present, the authorities, under pain of personal

responsibility, do not risk violating the established standards. These norms, in general, are very preferential and do not require much effort, either physical or mental labor. In other states railway employees work much more, especially in America.

Labor in former times and its modern regulation. – In the past, before rationing of the work of employees, they worked much more and did not know what overwork is. If the circumstances of the service were so unfavorable that they required strenuously intensive and prolonged work, then it was resignedly left to the cause. When the technical pathological term «overwork» was invented, the employees realized how much they were exploited by the case. In order to avoid overwork, to which at one time in the eighties of the last century all accidents were explained, although this is completely unfounded, as later times have shown, which did not reduce accidents on the roads, they were carried away in the opposite direction and created too small norms for railway work.

The rules governing labor were created and redrawn several times, and most of the current ones date back to 95, 98, 99 years.

Regulation of the work of switchmen. – No matter how, apparently, these rules were not developed exactly, nevertheless they are not accurate, and often serve as a reason for unnecessary expenses, and at the present time they need to be revised and redone again. For example, to normalize the duty of switchmen to the base, movement with six pairs of trains per day is accepted, but how to count these pairs is not indicated. Therefore, in order to avoid liability against the letter of the law, in the event of some crime, the roads keep a staff of switchmen at the station with five people instead of three, for a whole year, when movement of more than six pairs occurs only a few days a year. The same stations on branches and on highways of low traffic – a lot; consequently, the sums spent in vain on them are significant.

Regulation of the work of drivers. – The duration of the work of the train driver is determined at 14 hours, and he is given the right, after this period, to leave the train, demanding rest. On some roads, the traction service very jealously guards such privileges of the drivers, introducing a complete confusion into movement of trains, which, no doubt, has an unfavorable value in economic circulation of rolling stock.



Rationing of rest of station heads. – The rationing of the rest of such agents as the heads of intermediate stations, despite the exact limits distributed by hours, is violated by life itself. The head of the station, who has the right to distribute the hours of classes for a full night's rest, often cannot use it, since he must go to the passenger train, hand over the proceeds and sell tickets. In the past, the ticket office was in the hands of the head of the station and one or two of his assistants, which is why tickets were not on duty at night and during hours – the assistants on duty sold them. Cases of deliberate miscalculation were very rare, but at the present time, after the strikes, there is already no trust between the employees themselves, and mass cases of dishonesty in the sale of tickets are forcing the station heads, who are personally responsible for the ticket office, not to trust assistants and go out at night for the sale of tickets, thereby violating their lawful and necessary rest. The regulation of rest is reduced to nothing.

Exemption of stationmasters from conducting postal operations and compiling reports. – The Non-Technician advises that some stationmasters be relieved of postal operations and savings bank responsibilities. It seems to me that this should not be done in order to avoid unnecessary expenses for other departments that cannot also entrust the operation to someone; – they need persons with a responsible, fairly solid position.

In order to remove the burden on stationmasters, it is better to give him an extra cashier or commercial clerk responsible for certain operations. To release station agents from the responsibility of compiling reports for the collection service is a completely wrong idea, since those who make expenses and commercial transactions should report for themselves. Here again the question of the help of assistants, if the station master himself does not have time to draw up reports.

Labor of employees in commodity offices. «White» negroes. – What should be paid attention to is the difficult working conditions in which most employees are placed in the goods offices of large goods stations. In truth, these workers, these «white» negroes, are pitiable. They are forced to work from early morning until late at night. And such work lasts not for weeks, but for whole months and sometimes even whole years. About ten years ago, this question was put on the agenda, a congress of heads of commercial departments was convened to develop a labor

standard for clerks and taxi drivers of goods offices.

The work of this congress had no real result at all, except for the decision to shelve this matter for eternity. According to the calculations of the congress, in order to standardize the work of agents of commodity offices and make it completely fair in relation to the work of other employees, it was necessary to add several million rubles to the number of employees in these offices. They were frightened of such expenses and shoved the work of the congress under the cloth, while the «white» negroes continue to languish under the yoke of overwork.

In spite of the present tendency to reduce expenditures, in the name of justice, the norms worked out by the congress should be brought to light and established once and for all, or for a long time, as a regulation of labor by the ministry.

The several million spent on this will not be completely wasted. Naturally, the work will become more correct, there will be no errors in the sales documents, and the number of claims will noticeably decrease, and, consequently, the size of the amounts paid for claims.

Overwork causes inaccuracies in work and a lot of errors, giving waybill buyers a pretext for lawsuits, the dimensions of which reach colossal proportions.

Embittered by overwork and low remuneration for it, employees can easily be consciously making mistakes in favor of claimant's offices¹ for weak remuneration on their part. Not by washing, but by skating – they are making up for their illegally trampled right.

Employee remuneration. – As regards the material remuneration of employees, it leaves much to be desired. As a general rule established on the roads, in relation to remuneration of senior and junior agents, a large difference is noticeable. Greater remuneration for seniors and less for juniors. This abnormality is a common phenomenon of all departments, which is why the railway department cannot be an exception.

I see a fair solution to this question in a constant consistent, up to certain limits, increase in the salaries of middle and junior employees after a certain number of years of service, as is practiced on many foreign roads.

Gradual salary increase. – Most employees remain in their positions from young to old age, all on the same salary. In his younger years,

¹ From «claimant» – a person, filing a claim. – *Ed. note.*

a single or small family, with small children, the salary received was somehow enough, and it was possible to live, but over time, as the children grow up, there is not enough salary, there is nowhere to find income, and it is impossible in the railway service, – involuntarily, one has to excel in extraneous gain, often at the expense of the interests of the road, or its losses. Here is an incentive for theft. First forced, and then already by virtue of secretly established methods and customs. Little by little, theft and bribes became necessary, and among the railways, they received a silent and unregistered right of citizenship.

The principle of railway economy: more employees and cheaper – not a little contributed to development of theft.

Comparison with other states. – The references given by the statistical collection of M.P.S. for 1905 are interesting, comparing the number of employees and workers and their average content in the European network of Russia, Austria, Germany and S.-A. United States a mile away in six years from 1899 to 1904 inclusive.

In Russia, the average number of employees and workers per verst is 12,7, Austria – 8,6, Germany – 6, America – 3,7.

The average salary of one employee and worker: in Russia 331 rubles, in Austria – 458 rubles, in Germany – 602 rubles and America – 1110 rubles.

Consequently, there are fewer employees abroad, but they are better paid. We should also strive for the same principle, as an economically correct principle. A well-paid employee and worker is capable of creating more value and better quality than a poorly paid one.

Distinction for seniors. – In addition to these allowances for old employees, it is necessary to establish some kind of difference for those who have served in general on the railways continuously for 25, 35, 40 and 50 years, and, in particular, on state employees and, moreover, on the same road.

Work award. – Even though the bonuses for the work of employees have long been granted the right of citizenship on the railways, but, unfortunately, recently its significance has fallen sharply in the service in which it should have a dominant value, namely, in the traffic service. Only a few old roads, which have long begun to award bonuses, traditionally still retain it. But new roads do not start such beneficial and profitable measures for lack of credit. The fact is

that the basis of the bonus is a reward for saving expenses allocated for a well-known work. If, on the other hand, an amount is allocated for expenses that is obviously insufficient for performance of certain functions, then it is obvious that only overspending, and not savings, can be expected. If there are no savings and separate estimated appropriations specifically for bonuses, then it goes without saying that the bonus is reduced to an empty phrase.

The main difficulty and delay in organizing a system of bonuses for some kind of labor available for bonuses lies in the lack of work coefficients that have not yet been worked out. When introducing bonuses, a huge amount of preliminary work is necessary to develop a coefficient through experimental observations and statistical records, which is why often the head of movement, with all the desire to introduce bonuses for labor and having neither time nor means for this, is often made unable to carry out this useful measure that serves an incentive to more energetic work and accustoming employees to more meaningful work and the desire to save government material and money.

Traction service awards. – Another thing in traction service. Coefficients have long been developed in it, which are independent of local dependence and can be applied, with insignificant changes, on all roads, which is why bonuses are of significant use in this service. Prizes are awarded for saving fuel and lubrication, the timeliness of thy train, the composition and weight of trains driven by the driver, the mileage of steam locomotives, and many other works.

With good work and intensity of movement of goods, the driver drives out monthly bonuses, often equal to or even exceeding his salary. A period of increased work on the road – traction employees are looking forward to and are not burdened by them, working with all their might; employees of the movement, on the contrary, curse this time, which draws all the veins and juices out of them and does not increase their material earnings. Only the conductors are happy with the increase in traffic, as they receive bonuses for their mileage.

Bonus question. – In general, the issue of premiums is raised on very shaky grounds, but in view of its usefulness, it is necessary to pay special attention to it, thoroughly think it over, systematically develop and introduce premiums on all roads and, if possible, in all services, especially in traffic and traction services.



Premium. – Regardless of all these paychecks, employees are also given bonuses for the results of their operation. I find the issuance of awards, in the form in which they are currently issued, completely wrong. For operation, i. e. in fact, for their work on operation of the road, employees receive a salary, while the issuance of awards for the results of operation, i. e. actually for successful operation of the road, can have meaning and significance in the case when they are really issued only for the success of the case, and not without any relation to whether the road worked well or not.

Currently, premiums are included in the estimates for the corresponding number, and make up 10 % of the total cost estimate for each road. Consequently, the issue of awards is decided in advance, whether it is bad, whether the road will work well, employees will work diligently or lazily. Such a system of fixing awards profanes the meaning and significance of awards in general and destroys any incentive that encourages diligence in work for the benefits of the road.

Distribution of awards. – For 1909, the total amount of awards for all state-owned roads was set at 3 706 000, and for 1910 at 4 million. This is such a solid figure that it is worth thinking about the correctness of its disposal.

The principle of distribution of awards does not withstand criticism, in the sense of justice, and one should resort to another, more appropriate, correct assessment of the work of employees.

In any case, it seems to me that awards cannot be given out for the results of exploitation, regardless of quality of the results. It is necessary to find out first whether the bad result came from organic shortcomings of the road and the lack of cargo, or from mismanagement and unsuccessful operation of it. Employees should not consider receiving awards as their inalienable right and look at them as an increase in salary, *conditio sine qua non*.

The reward is the encouragement of outstanding works, which must be shown by tangible benefits for the cause. The incorrectness of the principle of issuing awards was, in my opinion, of great importance in lowering the energy of employees of state roads.

On state-owned roads, in addition to awards, various kinds of benefits are also

issued, distributed as needed by the Management Council.

Courts of honor and comrades, as elements of raising morality. – To raise morale among railway employees, it would be useful to organize courts of honor and comrades on each road. All employees of the practice who have lived for a long time on the line and in its offices know what a mass of illegal and immoral acts are committed by employees; a lot of clashes of a comradely, personal nature, offenses contrary to the interests of the treasury and societies and official duty – pass without a trace for those responsible for them, without any recovery from them and without open censure by a decent majority. This gives rise not only to a relapse, but also causes other employees who do not have the ethics of decency to follow the example of those who did not receive proper punishment for a reprehensible act.

The accumulation of deeds sinning against ethics among railway employees has greatly lowered the moral level of this environment. In the area of concerns about raising ethics among railroad workers, measures must inevitably enter, directly, one way or another, condemning and stigmatizing immoral acts and misconduct in the face of all employees.

The authorities, *in corpore*, cannot take up this matter, since, being overly busy with performance of their direct duties, they are not so familiar with the environment of their employees, and besides, punishment or even disapproval of a misconduct by the authorities cannot have that peremptory value, which they acquire in the eyes of employees if they are imposed by colleagues themselves. «*The voice of the people is the voice of God*». The people, in this regard, will appear in the person of judges chosen voluntarily by the servants themselves.

Of course, I am far from thinking in this report to present a ready-made program of courts, which, together with the statutes, should be thoroughly worked out by the employees themselves; I express only the idea, which, in my opinion, should be realized in terms of its undoubted usefulness and profound significance.

Choice of judges. – The roads should be divided into departments, whose employees, excluding laborers, watchmen and switchmen, choose from among themselves and from among senior employees, a certain number of respected and worthy persons who have a good, unblemished reputation as honest and just people. These

persons are considered judges. For the court of honor, which is in charge of all matters of a personal and family nature, two judges are chosen from outside, and these latter themselves elect the chairman – the third judge from the total number of elected judges. The decisions of the court of honor are peremptory and the parties are obliged to obey it.

For a comrades' court, which is in charge of offenses against comrades, the treasury or society, against the rules of morality, official duty, etc., the judges gather in a certain number, according to the established turn, and elect a chairman from among themselves, call the guilty and witnesses, examine cases and issue their decision, which is considered peremptory, and to which the guilty are obliged to obey unquestioningly.

For both courts, charters must be drawn up, approved by the head of the road.

The influence of the courts. – Such kind of courts, for some very short time, should have a visible benefit, raising morality and developing an ethics of decency both among the judges themselves, flattered by the trust of their colleagues, why they should become even more correct and decent, and among other employees, condemnation which will fall on them like a black spot and will inevitably cause a desire to improve and make amends. Such a condemnation will always have an enormous advantage over the penalties imposed by orders and circulars on the road and which, given the low moral level that has been established on the road, many even flaunt. This is the judgment of the people, the judgment of God. It is impossible to go against him. It remains to submit and correct, or be ostracized. People who do not want to submit to the judgment of society, or who are incapable of correction, will have to not only leave the road, but also completely leave the service on the railways, thus, the tares will be completely removed from the railway field, to the general well-being.

Self-help in raising the moral level. – Self-help in this matter by the employees themselves will be of real importance, all the more important because, on the one hand, it will function completely independently, without the slightest pressure and even direction from the local top administration, and on the other hand, it will not cause any expenses from the treasury and boards of private road companies.

Self-help on the basis of an elective principle, with the mutual trust of employees and judges

and the favorable consent of the administration, will disinfect the roads from harmful elements, raise railway ethics high, and with it an honest attitude to the official duty and interests of the treasury and the state, and help the Ministry of Railways in raising profitability of roads and the establishment of order in them.

On four roads on which I served, there was not a trace of courts of this kind, and on other roads they do not exist, because otherwise I would have known. In railway literature, I have not read about organization of such courts.

It seems that there are some kind of courts of this kind on the Warsaw-Vienna road, but nothing is known about their functioning.

An example of officers' courts. – Officers' courts are organized in our army, and they function successfully, exerting a very useful influence on maintaining morality and honor in military units. The same must be achieved on the railways.

For a start, of course, an initiative is needed on the part of the Ministry, whose duty it is to notify the roads about taking measures for organization of courts.

It goes without saying that all employees will gladly respond to such a call and immediately set to work. God help such a useful and good cause!

Pension fund and employee insurance

So far, I have been talking about organization of institutions that embrace the organization of the life of employees during their service on the roads, but for final provision of employees, at the end of their service, due to advanced age or illness, as well as to provide for the family in case of premature death, organization of pension funds and employee insurance is necessary.

The general pension fund of employees on state-owned railways has existed since January 1, 1894 and has as its purpose the issuance of emerital, widow's and orphan's pensions to the employees themselves. The pension capital is provided by employees' own obligatory contributions in the amount of 6 % of the content, deductions from bonuses, income from station canteens and surcharges from the treasury.

Unfortunately, the amount of pensions received by both the employees themselves and their widows and orphans is too small to ensure the existence of pensioners, even in the case of a long service of an employee. In cases of the death of an employee shortly after entering the



service, the family receives little to provide for himself, since the size of the pensions is directly proportional to the contributions made.

The pension fund, in its current position, does not satisfy the employees at all, and they, in fact, do not value it. Everyone pays deductions, as obligatory, but in the past they often tried to leave the service in order to receive their contributions and then go back to the service. This was banned by the Railroad Administration a few years ago. But nevertheless, it is still practised.

It would be necessary to revise the calculations of the state general pension fund and, if possible, increase pensions. There is no need to accumulate excess capital, made up of small contributions from participants.

Life insurance in the pension fund. – Life insurance in private companies seems unfeasible due to the expensive annual premium rate, so the Ministry of Railways, through the administration of the pension fund, developed a project for insurance of employees in the pension fund and, after many vicissitudes, finally achieved a favorable opinion of the State Council and was awarded the Highest Approval project on May 3, 1899.

According to this law, all employees in operation and construction of state-owned and private railways, and the central institutions of the Ministry of Railways, Finance and State Control for the railway part, received the right to life insurance in the pension fund of employees of state-owned railways. Two types of insurance are allowed:

a) capital insurance in case of death.

b) Mixed insurance for a certain period – in which the insured capital is issued either to the insured himself, or, in the event of the death of the insured before the expiration of the term, to his heirs.

Finally, the so-called collective insurance by a group of persons of at least 25 people and the amount for each insured of not more than 1000 rubles is also allowed. This insurance completely replaces funeral funds, which are extremely disadvantageous for participants.

Involvement of employees in insurance. – No matter how brilliant are the results of insurance operations over decades, but, nevertheless, the number of insured employees as a percentage of the total number of employees is negligible, only 21 %. And this is due to insufficient dissemination among employees of information about such insurance and its benefits. The management of

the affairs of the cash desk is not in a position to keep a mass of special agents on all lines for recruitment of insurers: local railway agents, such as traffic and train auditors, auditors of station accounting, auditors of the telegraph, traction, material service, assistant chiefs of sections and distances, must undertake this. There were examples that the auditors of movement, having become interested in this issue, attracted a lot of employees to participate in insurance. These senior line agents, each in their own area, must explain to employees their personal benefits of insurance and, by the power of words, persuade them to take part in it.

This must be done not by virtue of official obligations and not by bureaucratic methods (orders, circulars), but by a living persuasive word, by virtue of philanthropy and attention to junior employees, whose interests should be dear to the district authorities.

The local railway administrations, in their turn, should help to spread insurance and by their attention incite the district authorities to active recruitment of agents of this useful institution.

The insurance premium on average reaches only 3 % of the salary of the insured persons, which cannot burden the budget of a railway employee, especially in view of providing for his family in the event of his premature death, and himself when he survives to the insurance period.

Insurance as a means of facilitating the arrangement of life. – Employees should understand the beneficial value of insurance for each of them and strive to use its services. One cannot always count on assistance from the treasury, one must also resort to self-help, especially when there are all chances for this, provided by the diligence of the Ministry and the Railway Administration.

Life insurance in the Railway Pension Fund should play a major role in arranging the life of railway employees and develop in them the desire to retain the service that ensures their old age, and in the event of premature death, makes possible the comfortable existence of their families.

N. P. Verkhovsky
(*Zheleznodorozhnoe delo*
[*Rail Business*],
1911, Iss. 21–22, pp. 44d-50d)

**The final part
of the report will be published
in the next issue of the journal ●**



**THE BOOK
ABOUT RUSSIAN
UNIVERSITY
OF TRANSPORT 260**

«Always on the Move»: this is the very exact title of the edition on the achievements of transport university dedicated to its 125th anniversary.



BIBLIO-DIRECTIONS



**SELECTED
ABSTRACTS
OF D.SC. AND
PH.D. THESES 263**

- Information support to telematic system of urban passenger transport control based on the instrumental data on passenger flow dynamics.
- Anode electrolyte-plasma saturation of steel and titanium alloys with nitrogen and carbon.
- Improving the methods of testing and self-control of hardware and software systems for technical diagnostics and monitoring of railway automation devices.

**NEW BOOKS
ON TRANSPORT
AND TRANSPORTATION 268**

New editions released by publishing houses and universities.





The Book about Russian University of Transport (MIIT)



Always on the Move. – Moscow, Pan press publ., 2021, 554 p. – ISBN 978-5-9680-0301-0.

The fundamental work is dedicated to the 125th anniversary of establishment of Russian University of Transport. The book contains the most interesting material, unique photographs, archival documents and historical essays on the main milestones in the history of the university, its main achievements and outstanding graduates.

The anniversary publication dedicated to the 125th anniversary of Russian University of Transport tells about formation and development of the country's leading transport university. Opened in 1896, Imperial Moscow Engineering School of the Department of Railways (IMEU) became alma mater for people who glorified themselves with the greatest transport facilities. These are the Great Siberian Railroad (Transsib) and the road from Siberia to Central Asia (Turksib), the bridge across the Yenisei, which received the Gold Medal at the World Exhibition in Paris in 1900, and the Baikal-Amur Mainline.

The book includes a description of the glorious history of the university; biographical information about outstanding scientists who glorified not only the university but the whole country with their discoveries, as well as information about the latest successes and achievements of the university and its graduates.

Keywords: *Russian University of Transport, MIIT, history of transport, training for the transport industry.*

The task of the editors in this case is not to offer a review, but a brief information about the new publication dedicated to the 125th anniversary of Russian University of Transport celebrated in 2021 and its presentation to the professional community.

600 pages of a commemorative edition with archival and modern photographs talk about the bright events and significant moments in the life of the famous university. This is most accurately stated in the preface: «The entire history of the Transport University is inextricably linked with the history of our country, it is an integral part of it. And in this history, there was a place for

great deeds, landmark events, brilliant victories and triumphs, and the hardest trials, unfulfilled hopes... Everything that filled the life of Russian society and the state at the end of 19th century, 20th century and the beginning of this, 21st century has been reflected in the life of the University... It is not possible to cover absolutely all the events, reveal all the storylines, fill in all the gaps in the jubilee edition. Just a story about outstanding university graduates, whom the transport industry of our country is proud of, would take up dozens of pages and become a multi-volume publication. Realising this, in the anniversary book we decided to focus on only

For citation: *The Book about Russian University of Transport (MIIT). World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 1 (98), pp. 260–262. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2022-20-1-15>.*

Acknowledgement. *The editors express their gratitude to Public Relations Centre of Russian University of Transport for the opportunity to use information and photographs. [Electronic resource]: <https://www.miit.ru/news/178823>.*

*The text of the editorial publication originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст редакционной статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*



some aspects, facts and creators of university history. Without belittling the role and significance of people and events outside the scope of this publication, we would like to emphasise the demand for continuous research into the history of the university... Turning to the history of the university clearly demonstrates the demand for transport education not only for the industry, but for the whole country... The history of the university continues. A great future lies ahead. Therefore, this book is not the final, but only one of the stages of a large-scale and painstaking work on compiling a university-wide annals, where in time there will be a place for all members of a large and friendly family, whose name is Russian University of Transport».

As noted in media publications in connection with this event, «many archival photographs have historical value. The teachers and students at the university, founded in 1896 as Imperial Moscow Engineering School, were outstanding scientists and engineers. So, Lord Kelvin said about the

physicist Pyotr Lebedev, who discovered the pressure of light: «Your Lebedev made me give up before his experiments». Lavr Proskuryakov, the author of the project of the bridge across the Yenisei, was awarded the Grand Gold Medal of the World Exhibition in Paris in 1900 and words of recognition from Gustave Eiffel. The scientific dynasties of the Velikhovs and Patons also began at this university»¹.

The presentation of the book «Always on the Move» took place on January 24, 2022, at the Russian State Library (RSL).

The guests of honour of the event at RSL were Deputy Minister of Transport of the Russian Federation I. P. Chalikh, twice Minister of Railways of the Russian Federation, the first president of JSC Russian Railways G. M. Fadeev, Director of the Administrative Department of the Ministry of Transport of the Russian

¹ Shumeiko, I. Move on. Nezavisimaya gazeta, 2022, Iss. 21 (8360). [Electronic resource]: https://www.ng.ru/ng_exlibris/2022-02-02/11_1113_miit.html.





Federation K. A. Pashkov, Deputy Head of Federal Agency for Marine and River Transport K. O. Anisimov and other representatives of the transport industry.

In his welcoming speech, A. A. Klimov, rector of Russian University of Transport, thanked the team of authors who worked on creation of the book for a year, as well as Endowment Fund of the University for invaluable financial support.

According to the established tradition, the first copy of the book «Always on the Move» was solemnly presented to the President of RSL, Viktor Fedorov, to be transferred for eternal storage to the collection of the Russian State Library. At the invitation of V. Fedorov, employees of the RSL conducted a tour of the library's funds for young students, guests of the event, members of the Academic Council, faculty, graduates of Russian University of Transport.

It is impossible not to note the special role that the book, dedicated to the achievements of many generations of students and scientists of the university, is called upon to play in the continuity of generations. As a symbol of this, on the eve of the holiday, the rector of the University presented copies of the book to today's best students for special academic success.

In conclusion, one cannot fail to note the great and sincere contribution of many university

graduates, its current and former employees, professors and scientists, representatives of the transport community to the collection of information, preparation and publication of the book.

The publication was supported by Endowment Fund of RUT (MIIT). The co-chairs of the editorial board were A. A. Klimov, rector of RUT (MIIT), B. A. Lyovin, president of RUT (MIIT), K. A. Pashkov, director of the Administrative Department of the Ministry of Transport of the Russian Federation, the editorial board was chaired by A. A. Vygnanov, Ph.D. (Eng), professor. The team of authors included E. B. Kulikova, Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of Museum of RUT (MIIT); S. V. Medvedev, Ph.D. (History), Associate Professor, Associate Professor of the Department of History; T. L. Pashkova, Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of Innovation Management in Transport, member of the Union of Writers of Russia, member of the Union of Journalists; S. E. Rudneva, D.Sc. (History), Associate Professor, Professor of the Department of History; A. V. Tantseva, Ph.D. (History), Associate Professor of the Department of History; A. V. Fedyakin, D.Sc. (Politics), Professor, Head of the Department of History; V. D. Cherepanov, Ph.D. (Politics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of History.

**Editorial staff of World
of Transport and Transportation ●**

**SELECTED ABSTRACTS OF D.SC.
AND PH.D. THESES SUBMITTED AT RUSSIAN
TRANSPORT UNIVERSITIES**

*The texts of the abstracts originally written in Russian
are published in the first part of the issue.*

*Тексты авторефератов на русском языке
публикуются в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-16>

Duque Sarango Maria José. Development of a methodology for information support of a telematic management system for urban passenger transport based on the use of instrumental data on the dynamics of passenger traffic. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka metodiki informatsionnogo obespecheniya telematicheskoi sistemy upravleniya gorodskim pas sazhirskim transportom na osnove ispolzovaniya instrumentalnykh dannykh o dinamike passazhiropotoka. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MADI publ., 2021, 24 p.

An analysis of regulatory documents allows us to conclude that at the end of the first decade of 20th century, a regulatory and technical base was developed in Russia, which makes it possible to develop and implement high-quality automated dispatch control systems in urban passenger transport.

However, the analysis of the work of urban passenger transport in large cities showed that the process of passenger transportation is not always consistent with the parameters of passenger traffic, which leads to a violation of the established standards for quality of transportation.

An analysis of the tasks, which are solved by modern dispatch control systems has shown that at present there are no functions and technologies for assessing and predicting changes in the filling of the vehicle cabin during its movement on the route in real time, which may cause violations of the established requirements for quality of transportation, determined by the population of a vehicle.

Compliance with the established requirements for quality of the transportation process is very important in connection with

the increased role of urban passenger transport in improving the difficult transport situation in large cities and metropolitan areas.

The above analysis confirms the relevance of the topic of the thesis aimed at harmonising the parameters of passenger flows and the dynamics of movement of passenger vehicles on the routes of urban passenger transport.

The objective of the study is to improve quality of transportation of passengers of UPT based on assessment and forecasting of the filling of the cabin of vehicles in a journey according to data generated by telematics.

A scientific and practical problem has been solved, which consists in finding patterns of changes for filling of the passenger compartment of the UPT vehicle from the parameters of passenger traffic on the route, creating tools for improving and complying with the established permanent or temporary standards for quality of transportation of passengers of UPT. The problem of differential assessment of passenger comfort levels in the process of transportation is solved based on the proposed concept of the phase space of the states of the transportation process.

An analytical relationship has been established between the volume of transport work performed and the parameters of passenger traffic, which will allow the control system to monitor the filling of the cabin on the route, taking into account the level of service and inform passengers at stops about filling the cabin using stop displays.

A technique for predicting the filling of the vehicle cabin at a critical stopping point is proposed, which can be used for information support when making decisions in the dispatch control system to comply with the traffic quality standards established by social standards.

The results of experimental studies proved the high accuracy of the developed model for predicting the filling of the vehicle cabin on the route (forecast error up to 10 %) to prevent possible overflow of the cabin on the journey in excess of the established standard.

The obtained research results were used in development of a new edition of the national standard GOST R 54723-2019, in preparation of guidelines for course design in the discipline «Telematics in organizational and production structures», as well as in preparation of scientific and technical reports on the results



of R&D performed under grants (Project No. 0042671, Project No. 0042614).

The proposed approaches, methods and models can be used to improve the software for dispatch control subsystems, analyze passenger flows and generate reporting data for modern automated dispatch control systems of UPT.

05.22.10 – Operation of road transport.

The work was performed and defended at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Dyakov, I. G. Theory and practice of anode electrolyte-plasma saturation of steel and titanium alloys with nitrogen and carbon. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [Teoriya i praktika anodnogo elektrolitno-plazmennogo nasyshcheniya stalnykh i titanovykh splavov azotom i uglerodom. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, MAI publ., 2021, 47 p.

Electrolyte-plasma processes attract considerable attention of researchers from many countries due to new technological possibilities.

Microarc oxidation and electrolytic-plasma polishing have already become widespread in modern production. Anode processes based on metal dissolution allow not only polishing, but also surface cleaning from various contaminants or etching with formation of nanoporous structures. Another group of anodic processes is based on the surface modification of metals and alloys with a change in their composition. These include electrochemical oxidation, which creates thin barrier films and relatively thick oxide strips, as well as microarc oxidation, in which anode layers are formed under the action of electrical discharges.

A promising direction can be associated with anodic electrolytic plasma saturation (AEPS) of metals and alloys with nitrogen, carbon or boron, which combines the possibilities of surface hardening, polishing and the creation of protective coatings. A preliminary analysis of the possibilities of AEPS shows the following advantages of this method:

- High processing speed, allowing to reduce duration of the operation to a few minutes.
- The possibility of combining diffusion saturation with hardening without reheating.

- There is no need for pre-treatment of the surface before processing.

- It is possible to process products with burrs removed during processing.

- Convenience of performing local processing by immersion in the electrolyte of the working surface or by supplying an electrolyte jet to it.

- Relatively deep surface modification compared to microarc oxidation or electroplating.

- No toxic materials or expensive equipment.

The objective of the work is to study the physicochemical mechanism of diffusion saturation of metals under plasma electrolysis conditions and to create the basis for the technology of surface modification of steel and titanium alloys to increase their corrosion resistance and wear resistance.

The main regularities of formation of hardened layers after diffusion saturation of steels with nitrogen and carbon have been clarified. It is shown that distribution of diffusing elements in the modified layer is determined by a combination of processes of surface oxidation with water vapor and electrolyte anions, anodic dissolution of the metal, and diffusion of nitrogen and/or carbon. The thickness of the oxide layer depends on the treatment temperature and concentration of active components of the electrolyte, which confirms participation of high-temperature oxidation in water vapor and electrochemical reactions with electrolyte anions emitted into the gas-vapor shell. The effect of heating parameters on the rate of electrochemical dissolution and high-temperature oxidation of the sample surface has been evaluated.

It has been established that with an increase in concentration of ammonium chloride, the share of the process of electrochemical dissolution increases. An increase in the heating temperature contributes to an increase in the proportion of high-temperature oxidation to a greater extent and to a lesser extent to accelerate the dissolution of iron.

It is shown that formation of an oxide layer can be described in terms of a high-temperature oxidation model in the presence of surface dissolution, which leads to a change in the ratio of iron oxide phases in the layer. It has been shown that the addition of glycerol to the solution based on ammonium chloride leads to

intensification of dissolution processes, which is associated with restoration of the oxidized surface of the sample by the products of glycerol decomposition. It has been established that an increase in the concentration of ammonium chloride in solutions with the addition of USC leads to an intensification of the dissolution processes and, as a result, a decrease in the thickness of the cemented layer.

The carbon potentials of electrolytes containing acetone, glycerol, sucrose, and ethylene glycol were determined based on the analysis of the distribution of carbon in the surface layer of mild steel specimens after anodic carburizing.

The possibility of controlling the thickness of the carburized layer during anodic electrolyte heating by changing the composition of the electrolyte and carburization modes is shown. The use of acetone, glycerin, sucrose and ethylene glycol as carbon-containing electrolyte components for anodic carburizing of steel products makes it possible to provide carbon potentials of saturating atmospheres from 0,9 to 0,6 %. This makes it possible to improve the characteristics of low-carbon steels: to form a martensitic layer with a thickness of 80 to 160 microns during hardening (in 10 minutes of processing) and to increase the conditional tensile strength from 420 ± 20 to 930 ± 50 MPa. The greatest value of the thickness of the martensitic layer after carburizing of steel 20 with subsequent hardening is observed at a concentration of carbon-containing components of 2 % (mass). At concentrations of carbon-containing components less than 2 %, a decrease in the layer thickness is observed due to a decrease in the saturating ability of electrolytes.

At concentrations above 2 %, the current decreases, which determines the intensity of anodic dissolution, as a result of which the thickness of the cemented layer decreases. It has been established that an increase in the wear resistance of low-carbon steels is associated both with an increase in the microhardness of the surface layer and with formation of residual austenite, which provides better surface running-in.

It has been established that the structure of the surface layer of structural steels after their electrolytic-plasma saturation with nitrogen and carbon contains iron oxides in the outer layer, martensite with iron nitrides or carbonitrides, and

a solid solution of saturating components in iron. The inhibitory role of the oxide layer and the possibility of reducing its thickness by intensifying the anodic dissolution have been confirmed. The possibility of realizing surface hardening by controlling the thickness of the martensite layer, which is formed only in the area of nitrogen penetration, which lowers the austenitization temperature, is shown. The influence of the concentrations of electrolyte components, temperature and duration of treatment on the structural characteristics of the modified layers, including their microhardness and roughness, has been established. On the basis of the proposed phenomenological models, the direct and cross diffusion coefficients of nitrogen and carbon are determined, which confirm the interaction of flows of diffusing atoms. With an increase in the saturation temperature, an additional acceleration of carbon diffusion due to nitrogen is observed, in accordance with this, the coefficient describing the effect of nitrogen diffusion on carbon diffusion has a positive sign.

Electrolyte compositions and AEPS regimes are proposed, which make it possible to increase the corrosion resistance of structural steels in sodium sulfate solutions. It is shown that the corrosion current density of steel 20 in a decinormal sodium sulfate solution can be reduced by a factor of 20 by nitrocarburizing it at a temperature of 800–850°C for 5 min in an electrolyte containing 10 % ammonium chloride, from 8 to 12 % glycerol and 10 % ammonium nitrate. It has been established that the corrosion resistance of specimens from structural steels after their AEPS is determined by the protective effect of the outer oxide layer and the content of iron nitrides in the joint zone.

It is shown that the analogy between classical electrolysis and anodic electrolyte heating can be used to qualitatively explain the electrochemical regularities of iron dissolution at the anode.

The predominant accumulation of iron in insoluble forms makes it possible to regenerate industrial electrolytes by means of decantation. It has been established that in the electrolyte operating time interval of up to 60 minutes, the main factor in electrolyte aging is the accumulation of iron dissolved from the anode surface. Reducing the concentrations of ammonium and chlorine ions does not affect thermal parameters of processing. The chlorine ion provides charge transfer from the shell to the anode, making a closed cycle of electrochemical



reactions. Its removal from the solution is carried out by recombination with ammonium ions, followed by the evacuation of ammonium chloride from the heating zone.

Electrolyte compositions and AEPS regimes are proposed, which make it possible to increase the wear resistance of structural steels under conditions of dry and hydrodynamic friction. It is shown that the mass wear of steel 20 can be reduced seven times by its nitrocarburizing at a temperature of 850°C for 5 min. in an electrolyte containing 10 % ammonium chloride, 10 % ammonium nitrate and 8 % glycerol. It is shown that the mass wear of steel 12Kh18N10T can be reduced by a factor of 20 by nitrocarburizing it at a temperature of 850°C for 5 min in an electrolyte containing 10 % ammonium chloride, 15 % urea. It has been established that the increase in wear resistance is explained by the complex effect of a decrease in surface roughness, an increase in its microhardness, an improvement in run-in and retention of lubricant by a porous oxide layer.

It has been established that AEPS of titanium alloys leads to formation of an outer oxide layer containing rutile and a solid solution of nitrogen and carbon in titanium. At processing voltages up to 210 V and an ammonium chloride content of 10 %, the dissolution of titanium prevails over its oxidation, i.e., a decrease in sample weight is observed. With an increase in voltage to 260 V or an increase in the concentration of ammonium chloride to 15 %, an increase in mass takes place, which indicates the dominance of oxidation during processing with an increase in sample temperature. A non-linear dependence of the weight loss on time was also found, which may indicate the exfoliation of a part of the oxide layer during processing.

A positive effect of the oxide layer on the electrochemical behavior of the VT1-0 titanium alloy in Ringer's solution after electrolytic plasma treatment is shown. The dependence of the corrosion current density on the thickness of the oxide layer, which is determined by the temperature and duration of treatment, as well as the cooling conditions of the treated sample, has been established.

A theoretical description of heat transfer during AEPS is proposed, which differs from the known models by considering heat dissipation into the environment through the part of the sample protruding from the electrolyte. The results of the calculation

qualitatively explain the nature of the volt-ampere and volt-temperature characteristics (on the ascending branch), the dependence of the PGE thickness on process parameters and the role of the electrolyte flow around the sample. Criteria for similarity of the process parameters are identified, which are the dimensionless energy released in the shell and the ratio of the heat flux densities from the shell to the electrolyte and to the anode sample. A decrease in the average current density with an increase in the depth of immersion of the part in the electrolyte was found, which is explained by the inhomogeneous distribution of the current over the surface of the part. The profile of the anode vapor-gas shell was calculated during heating of a vertical cylindrical sample. The expansion of the shell was found with an increase in the heating voltage and an increase in the length of the sample. A decrease in the proportion of heat entering the anode was found from 16 to 1 % as its length increased from 2 to 7 cm. The values of the vertical temperature gradient of the anode were measured, ranging from 2 to 20°C/cm. It has been found that the temperature gradient increases with increasing voltage and decreasing the length of the anode.

A technological process has been developed for increasing the corrosion resistance and wear resistance of structural steels and titanium alloys by means of their anodic electrolytic-plasma saturation with nitrogen and carbon, followed by quenching in the same electrolyte. Recommendations have been prepared for improvement of electrolytic-plasma processing installations in order to stabilize the conditions and increase the uniformity of the modification of parts over their surface.

2.6.1 – Metal science and heat treatment of metals and alloys.

The work was carried out at Kostroma State University and defended at Moscow Aviation Institute (National Research University).

Osadchiy, G. V. Improving the methods of testing and self-control of hardware and software systems for technical diagnostics and monitoring of railway automation devices. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie metodov testirovaniya i samokontrolya apparatno-programmnykh sredstv sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoi

The main objective of the thesis research is to develop methods for organizing test diagnostic support and self-diagnosing devices of systems for technical diagnostics and monitoring (STDM) of railway automation and telemechanics devices (RAT), implementing the principles of testability, self-checking, and self-control.

The results obtained during working on the thesis allow solving one of the most important problems – to improve the technical means for diagnosing the peripheral level of STDM RAT through the application of the principles of testability, self-checking and self-control in implementation of hardware and software. One can conclude the following:

- One of the most vulnerable technical means of modern diagnostic and monitoring systems in terms of reliability are peripheral level objects, including measuring controllers, hardware and software tools for pre-processing and transmission of diagnostic information to concentration points. Failures and persistent failures in technical means of this level lead to a violation of the integrity of diagnostic data, the impossibility of high-quality intellectual processing at the level of concentrators of linear and central points, which inevitably leads to a decrease in reliability of the diagnosis and subsequent forecast.

- Improving STDM RAT, increasing reliability and fault tolerance of their components is facilitated by following the principles of testability, self-checking and self-control in the development of hardware and software.

- One of the effective methods for the synthesis of hardware and software tools of automation, endowed with the properties of error detection in calculations, is the method of logical addition, which makes it much easier to ensure the complete self-checking of the structures of the synthesized devices while minimizing their structural redundancy.

- The method of synthesis of self-checking built-in control circuits for automation and computer technology devices developed in the thesis, using the principle of logical complement to the equilibrium code «1 out of 4» and taking into account statistical data about the object of diagnosis, allows synthesizing simpler self-checking devices than when using duplication, in among other things, it allows to synthesize self-testing devices even when it is impossible to do this, following the

principles of duplication. For a sample of 26 control combinational schemes, the average value $\mu = 84,6\%$ was obtained (8 % less than without taking into account statistical data ($\mu = 92,6\%$)).

- When implementing built-in control schemes by the method of logical complement to the equilibrium code «1 out of 4», in addition to the statistical approach, it is effective to use the selection of «triples» of outputs of the diagnostic object, as well as to use compression schemes before logical transformation. In the first case, it is possible to both reduce complexity of technical implementation of the self-checking device ($\mu = 88,5\%$) and increase the reliability of the control circuit ($p(\eta) = 97,2\%$), and in the second case, it is possible to significantly reduce the structural redundancy of the device ($\mu = 79,4\%$), however, the reliability of error identification slightly decreases ($p(\eta) = 96,6\%$).

- The algorithms for self-diagnosis of STDM RAT components developed in the thesis can be effectively used to create software tools for their technical diagnostics, which significantly improves the monitoring technology.

- The method proposed in the thesis for selecting the period of self-diagnosis of measuring controllers, based on the selection of high-priority requests for the operating actions of the measuring controller and low-priority requests for test actions, allows determining the best conditions for the moments of implementation of diagnostic procedures without interfering in the main process of functioning of the objects of diagnosis.

- The approach to assessing the reliability of self-diagnosis proposed in the thesis makes it possible to determine the conditions for choosing the periods of self-diagnosis of measuring controllers, taking into account the probabilistic assessment of identification of internal errors.

- The application of the approaches proposed in the thesis to improve the level of testing and self-diagnosis by the technical means of APK-DK allows significantly increasing the efficiency of its work by increasing the reliability of functioning of the components, and also allows switching to the use of intelligent processing of the received diagnostic data.

05.22.08 – Management of transportation processes.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles in Russian is published in the first part of the issue.

Список на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-17>

Ageshkina, N. A. Transportation of dangerous goods by road: Study guide [Perevozka opasnykh грузов avtomobilnym transportom: Ucheb. posobie]. 2nd ed. Saratov, Profobrazovanie publ., 2022, 138 p. ISBN 978-5-4488-1368-9.

Bezyazychny, V. F., Kalugin, S. S., Bessudnov, I. A. Optimization of technological cycles for manufacture and repair of parts for aircraft gas turbine engines based on the provisions of logistics: Study guide [Optimizatsiya tekhnologicheskikh tsiklov izgotovleniya i remonta detalei aviatsionnykh gazoturbinnnykh dvigatelei na osnove polozhenii logistiki: Ucheb. posobie]. Rybinsk, RGATU publ., 2022, 64 p. ISBN 978-5-88435-716-7.

Bochkareva, N. A. Transportation of dangerous goods and liquidation of emergency situations (railway transport): Textbook [Perevozka opasnykh грузов i likvidatsiya chrezvychainnykh situatsii (zheleznodorozhnyi transport): Uchebnik]. 2nd ed. Saratov, Profobrazovanie publ., 2022, 145 p. ISBN 978-5-4488-1369-6.

Bogatkin, O. G. Aviation meteorology for pilots [Aviatsionnaya meteorologiya dlya lechikov]. Ed. 2nd, rev. and enl. Moscow, Pero publ., 2022, 207 p. ISBN 978-5-00189-881-8.

Bogatkin, O. G., Toptunova, O. N., Volobueva, O. V., Ivanova, I. A. Workshop on aviation meteorology: Study guide [Praktikum po aviatsionnoi meteorologii: Ucheb. posobie]. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2022, 153 p. ISBN 978-5-91155-142-1.

Bukovsky, S. L., Sachkova, E. V. English for railway transport: Textbook [Angliiskii dlya zheleznodorozhnogo transporta: Uchebnik]. 2nd ed., ster. Moscow, Flinta publ., 2022, 469 p. ISBN 978-5-9765-3992-1.

Chernova, V. V. Operation of road machines, vehicles and tractors: Textbook [Eksploatsatsiya dorozhnykh mashin, avtomobilei i traktorov: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2022, 223 p. ISBN 978-5-0054-0325-4.

Chumak, P. I., Kononova, O. P. Resistance of materials for aircraft structures: Textbook [Soprotivlenie materialov aviatsionnykh konstruksii: Uchebnik]. Moscow, Infra-M publ., 2022, 418 p. ISBN 978-5-16-016614-8 (print).

Chuyan, S. N., Atamanyuk, A. V. Complex mechanization of track and construction works: Study guide [Kompleksnaya mekhanizatsiya putevykh i stroitelnykh rabot: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, PSTU publ., 2022, Part 1. 2022, 42 p. ISBN 978-5-7641-1730-0.

Golovchenko, E. V., Fedyunin, P. A., Zyryanov, Yu. T. [et al]. Aviation infocommunication networks: Study guide [Aviatsionnie infokommunikatsionnye seti: Ucheb. posobie]. Under the general editorship of E. V. Golovchenko. St. Petersburg, Lan publ., 2022, 192 p. ISBN 978-5-8114-8274-0.

Goryaev, N. K. International road cargo transportation: Textbook [Mezhdunarodnie gruzovie avtomobilnye perevozki: Uchebnik]. Chelyabinsk, Publishing Center of SUSU publ., 2022, 101 p. ISBN 978-5-696-05267-0.

Kodzhapirov, Yu. G., Krupnik, E. Ya., Volkova, T. V., Cherenkova, S. L. Professional and applied physical training of students of aviation universities: Study guide [Professionalno-prikladnaya fizicheskaya podgotovka studentov aviatsionnykh vuzov: Ucheb. posobie]. Under the general editorship of Yu. G. Kodzhapirov. Moscow, Publishing house MAI, 2022, 124 p. ISBN 978-5-4316-0882-7.

Kotovskiy, V. N., Fedorov, R. M. Calculation of parameters and characteristics of aircraft gas turbine engines: Monograph [Raschet parametrov i kharakteristik aviatsionnykh GTD: Monografiya]. Moscow, Publishing House of the Academy named after N. E. Zhukovskiy, 2022, 256 p. ISBN 978-5-907490-39-0.

Kuznetsov, P. M., Butko, A. O. Information support for development of aviation technology: Study guide [Informatsionnaya podderzhka razrabotok aviatsionnoi tekhniki: Ucheb. posobie]. Moscow, Green Print publ., 2022, 66 p. ISBN 978-5-907286-75-7.

Lykov, A. A., Blyudov, A. A., Ledyayev, E. V., Rakcheev, S. V. Railway signaling: Study guide [Zheleznodorozhnaya signalizatsiya: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, PSTU publ., 2022, 49 p. ISBN 978-5-7641-1738-6.

Makienko, V. M., Sokolov, P. V., Atenyaev, A. V. [et al]. Obtaining new materials in the Far East region: Monograph: in 2 parts [Poluchenie novykh materialov v Dalnevostochnom regione: Monografiya: v 2 chastyakh]. Ed. by V. M. Makienko. Part 2. Khabarovsk, FESTU Publishing House, 2022, 121 p. ISBN 978-5-262-00684-7.

Merkulov, A. V. Simulation modeling of station operation: Monograph: in 2 parts. Part 2: Database management [Imitatsionnoe modelirovanie raboty stantsii: Monografiya: v 2 ch. Ch.2: Upravlenie bazami dannykh]. Khabarovsk, FESTU Publishing House, 2022, 145 p. ISBN 978-5-262-00913-8.

Musonov, V. M., Katsura, A. V., Akzigitov, R. A. Airborne electroradio measurements: Monograph [Aviatsionnye elektroradioizmereniya: Monografiya]. Krasnoyarsk, SibSU n. a. M. F. Reshetnev, 2022, 185 p. ISBN 978-5-86433-898-8.

Panin, Yu. A., Grinevich, V. P., Ivanova, N. G. [et al]. Rail lubrication in railway transport: popular about theory and practice [Lubrikatsiya relsov na zheleznodorozhnom transporte: populyarno o teorii i praktike]. Ed. by Ph.D. Yu. A. Panin. Tula, Borus-Print publ., 2022, 152 p. ISBN 978-5-905154-70-6.

Razuvaev, D. A., Bender, O. A., Lavrova, A. Yu. Designing the reconstruction of highways: Study guide [Proektirovanie rekonstruktsii avtomobilnykh dorog: Ucheb.-metodicheskoe posobie]. Novosibirsk, Publishing House of Siberian State Transport University, 2022, 110 p. ISBN 978-5-00148-254-3.

Rozenberg, I. N., Belyakov, S. L., Bozhenyuk, A. V. Fundamentals of geoinformation modeling: Textbook: in two books [Osnovy geoinformatsionnogo modelirovaniya: Uchebnik v dvukh knigakh]. Ed. by I. N. Rozenberg. Moscow, TMC for education on railway transport, 2022, 324 p. ISBN 978-5-907479-57-9, ISBN 978-5-907479-58-6.

Rumyantsev, L. A. Design of automated automobile transmissions [Proektirovanie avtomatizirovannykh avtomobilnykh peredach]. Ed. 2nd, en. Moscow, Innovatsionnoe mashinostroenie publ., 2022, 374 p. ISBN 978-5-907523-06-7.

Shishkina, I. V. Arrangement and maintenance of artificial structures on railway transport: Study guide [Ustroystvo i soderzhanie iskustvennykh sooruzhenii na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie]. Moscow, Pero publ., 2022, 211 p. ISBN 978-5-00189-954-9.

Simkin, E. L. Parametric methods for diagnosing aircraft engines during bench tests and in operation: Study guide [Parametricheskie metody diagnostirovaniya aviatsionnykh dvigatelei pri tendovykh ispytaniyakh i v ekspluatatsii: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, Lan publ., 2022, 449 p. ISBN 978-5-8114-8406-5.

Tikhonov, A. I., Prosvirina, N. V. Import substitution in the aviation industry: Monograph [Importozamashchenie v aviatsionnoi promyshlennosti: Monografiya]. Moscow, Znanie-M publ., 2022, 177 p. ISBN 978-5-00187-229-0.

Vakulenko, S. P., Prokofiev, M. N., Evreenova, N. Yu. Innovative technologies for cargo transportation by rail: Textbook [Innovatsionnye tekhnologii gruzovykh perevozok zheleznodorozhnyim transportom: Uchebnik]. Ed. by Ph.D., professor S. P. Vakulenko. Moscow, VINITI RAS publ., 2022, 183 p. ISBN 978-5-902928-94-2.

Varentsov, V. M., Buryanovaty, A. I., Ivanov, M. A. [et al]. Power supply of railways: Study guide [Elektrosnabzhenie zheleznnykh dorog: Ucheb. posobie]. Part 1. St. Petersburg, PSTU publ., 2022, 141 p. ISBN 978-5-7641-1715-7.

Vovk, L. V., Kovalchuk, T. B. Transport facilities: Textbook [Transportnie sooruzheniya: Uchebnik]. Ed. by L. V. Vovk. Moscow, Academia publ., 2022, 254 p. ISBN 978-5-0054-0397-1.

Zhmerenetsky, V. F., Livintsev, N. P., Saranin, R. V., Skopets, G. M. Life cycle of an aircraft model. Theory and Practice of Regulatory Support: Monograph [Zhiznenniy tsikl obraza aviatsionnoi tekhniki. Teoriya i praktika normativnogo obespecheniya: Monografiya]. Ed. by D.Sc. (Eng), prof. G. M. Skopets; foreword by the Honored Worker of Science and Technology, D.Sc. (Eng), prof. G. P. Shibanov. Moscow, URSS: LENAND, cop. 2022, 341 p. ISBN 978-5-9710-9630-6.

Zyabirov, Kh. Sh., Shapkin, I. N. Integral indicators of improving the quality of the transportation process management system in railway transport: (theory, practice, prospects) [Integralnye pokazateli povysheniya kachestva sistemy upravleniya perevozochnym protsessom na zheleznodorozhnom transporte: (teoriya, praktika, perspektivy)]. Moscow, Finansy i statistika publ., 2022, 382 p. ISBN 978-5-00184-064-0.

Compiled by N. OLEYNIK ●

41ST MEETING OF THE COORDINATING TRANSPORT MEETING OF THE CIS MEMBER STATES

The meeting, held on December 22, 2021, under the chairmanship of the Minister of Transport of the Russian Federation Vitaly Savelyev, was timed to celebrate the 30th anniversary of the CIS CTM as a key industry organisation of the Commonwealth. It was attended by ministers of transport and representatives of transport departments of the Republic of Azerbaijan, the Republic of Armenia, the Republic of Belarus, the Republic of Kazakhstan, the Kyrgyz Republic, the Republic of Moldova, the Republic of Tajikistan, Turkmenistan, the Republic of Uzbekistan, as well as associate members of the CIS CTM,

representatives of the business community, transport international and public organisations.

Vitaly Savelyev made a welcoming speech via videoconference and highlighted the fact that in modern realities the CIS demonstrates its relevance as a universal platform for discussing topical issues and making systemic decisions, notably in the field of transport.

The attendees discussed trends in the digital development of the transport industry, as well as the role and significance of international transport corridors for the economies of the CIS countries.

CONGRATULATIONS OF THE MINISTER OF TRANSPORT VITALY SAVELYEV TO STUDENTS OF TRANSPORT EDUCATIONAL INSTITUTIONS ON JANUARY 25, 2022

**Dear present and
future colleagues!**

Today, Russian transport education is on the rise. Thousands of Russian and foreign students continue their studies in the universities with well-developed research infrastructure and will have become thus by the time of graduation specialists with labour experience and highly specialised knowledge. Today, during their studies, students are developing the largest infrastructure projects in the country: the Trans-Siberian Railway, the Moscow–Volga Canal, hundreds of unique bridges and tunnels and other structures.

Transport universities today are not only training sites, but also large scientific centres. Professors, doctors, and candidates of sciences teach in them, and industry veterans have invested their expertise and knowledge to educate several generations of transport employees.

Important developments in education took place last year. The main transport university of the country, the Russian University of Transport, turned 125 years old, and the St. Petersburg State University of Railway Engineering has turned 212



years old. They continue to enrol students and help in solving urgent industry's problems. The President inaugurated the Far Eastern Marine Training Centre of the Admiral G. I. Nevelsky Maritime State University which is a unique structure for training crew members of

multifunctional vessels and improving the skills of sailors.

Dear students! You have chosen a difficult, but honourable path of a transport employee. This profession is in demand and is necessary for the country. Thanks to us, millions of passengers and millions of tons of cargo are transported throughout the country, trains and ships run, airplanes fly, highways, railways, bridges and airports are built.

I wish you success in your studies and profession. I hope to see you among us soon. Congratulations to you! Happy Russian Student Day!

**Compiled based on the news published by the
Ministry of Transport of the Russian Federation:
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10146>,
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10158> ●**



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 20, Iss. 1, 2022

Editor-in-Chief Boris Lyovin

For your letters:

Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel. +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет
транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: (495)6842877

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >