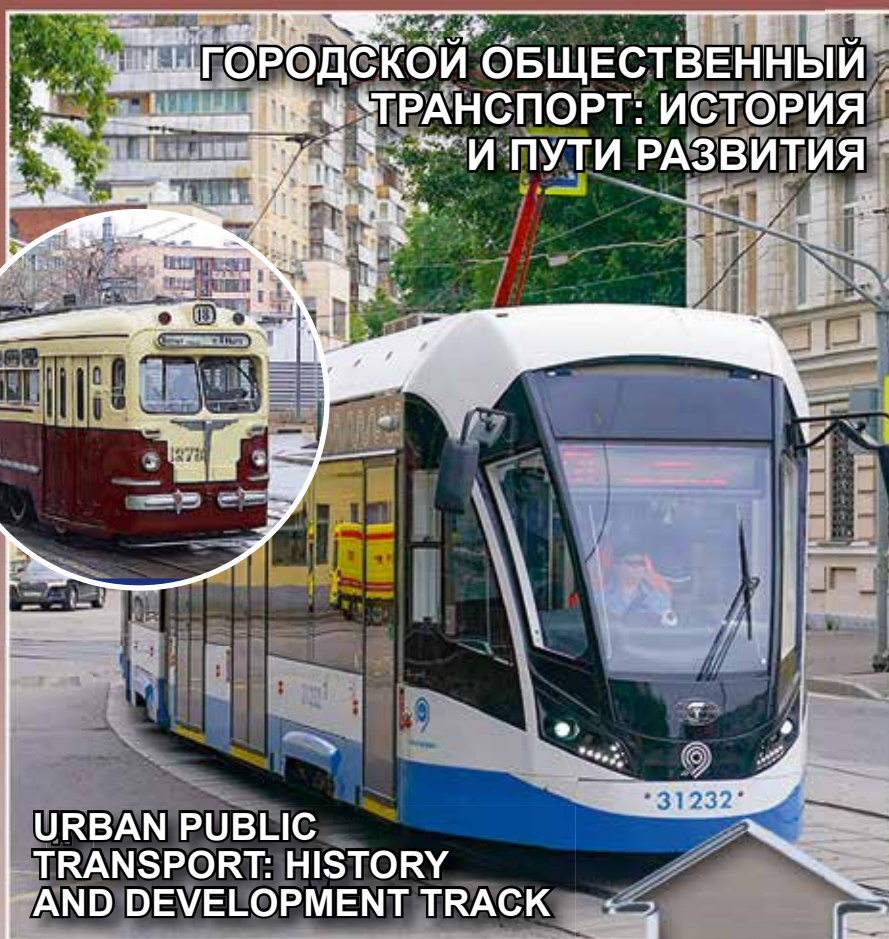


ТРАНСПОРТ

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

2024
Том / Vol. 22



ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ
ТРАНСПОРТ: ИСТОРИЯ
И ПУТИ РАЗВИТИЯ

URBAN PUBLIC
TRANSPORT: HISTORY
AND DEVELOPMENT TRACK



БАМ отмечает полувековой юбилей

Байкало-Амурская магистраль входит в число крупнейших железных дорог мира. Она проходит по территории Амурской и Иркутской областей, Забайкальского и Хабаровского краев, Бурятии и Якутии. БАМ стал всенародным проектом, его возведение называли стройкой века, в которой в общей сложности участвовали около 2 млн человек. Работа проходила в сложных климатических, геологических условиях. Почти 1,5 тыс. км проложено в районах вечной мерзлоты и высокой сейсмичности.

БАМ пересекает 7 горных хребтов и 11 крупных рек. Для преодоления естественных преград было сооружено 4242 моста и водопропускных сооружения. Почти каждый десятый километр БАМа проходит по мосту, а каждый сотый – в тоннеле. Из-за сложного рельефа местности более 30 км железной дороги проходит в тоннелях. Здесь находится самый длинный в России тоннель – Северомуйский. Его строили с 1977 по 2001 год, ввели в постоянную эксплуатацию в 2003 году.

Протяженность БАМа составляет 4,3 тыс. километров. Байкало-Амурская магистраль изменила облик огромного таежного края, вов-

лекла в экономику страны крупнейшие запасы полезных ископаемых и леса, обеспечила объемы грузоперевозок, укрепила внешнеэкономические связи СССР через морские порты Дальнего Востока. Вместе с БАМом появились новые поселки, города, что способствовало закреплению кадров и улучшению условий жизни в Сибири и на Дальнем Востоке, которые всегда играли особую историческую роль в развитии России и сегодня остаются стратегически важными направлениями.

8 июля 2014 года Владимир Путин дал официальный старт «БАМу-2», крупнейшей современной стройке на Восточном полигоне. Проект расширения БАМа направлен на увеличение транспортной связности России со странами Азиатско-Тихоокеанского региона и улучшение условий социально-экономического развития Дальнего Востока.

По материалам пресс-центра
Министерства транспорта Российской
Федерации: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/11209> ●

125-летие столичного трамвая

Более 200 тысяч человек отметили 125-летие московского трамвая у Белорусского вокзала. Гости праздника увидели торжественный парад трамваев на Лесной улице, выставку ретроавтомобилей, грузовиков и автобусов на площади Тверская Застава, а также посетили концерт.

В юбилейном для московского трамвая году планируют провести три парада исторических вагонов: весенний, летний и осенний.

В то же время ведется подготовка к расширению трамвайных маршрутов. В конце мая на Трифоновской улице начнутся работы по восстановлению трамвайной линии. В 2025 году, спустя 30 лет, здесь вновь будут курсировать трамваи. Восстановленный участок позволит соединить Рижский вокзал с самыми популярными местами в центре города.

«С возвращением трамваев на Трифоновскую улицу надежный транспорт появится более чем у 70 тысяч человек, которые живут или работают в районе этой линии. За счет удобных пересадок и минимальных интервалов время в пути сократится, а поездки станут комфортнее. Развитие столичной трамвайной системы проводится при непосредственной поддержке Сергея Собянина», — рассказал заме-

ститель Мэра Москвы по вопросам транспорта Максим Ликсутов.

В этом году планируется полностью обновить рельсы и шпалы на всей Трифоновской улице. Протяженность этого участка составляет около трех километров. Работы выполнят специалисты Московского метрополитена. В следующем году запланировано построить новый участок путей на улице Гиляровского с разворотным кольцом у Рижского вокзала. На участке будут курсировать современные низкопольные трамваи.

Новый участок пройдет непосредственно рядом с Российским университетом транспорта, один из корпусов которого виден на фотографии на первой странице на перекрестке Трифоновской улицы и улицы Образцова.

Столичная трамвайная система работает под управлением Московского метрополитена. Специалисты регулярно обслуживают, ремонтируют и модернизируют инфраструктуру. Каждый день на линию выходят около 500 трамваев, на которых по будням совершается около 700 тысяч поездок.

По материалам сайта Мэра Москвы:
<https://www.mos.ru/news/item/138658073/>;
<https://www.mos.ru/news/item/137286073> ●

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

2024
2 (111)

Издается
Российским университетом
транспорта.

Учрежден МИИТ в 2003 году
Редакционный совет:

И. Н. Розенберг – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, научный руководитель РУТ (МИИТ), председатель совета

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

А. Д. Гишиани – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН

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

Б. В. Гусев – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН

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

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

Н. С. Касимов – доктор географических наук, профессор, академик РАН

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

Г. Г. Матишов – доктор географических наук, профессор, академик РАН

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

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

К. А. Пашков – доктор медицинских наук, профессор РАН, профессор Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова

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

С. С. Соколов – доктор технических наук, профессор РУТ

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

А. А. Соловьев – доктор физико-математических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН

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

В. Я. Цветков – доктор технических наук, доктор экономических наук

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Игорь РОЗЕНБЕРГ, Сергей ДУЛИН

О формировании геопространственных знаний
на основе преобразования геоописаний

6

Игорь ПУГАЧЕВ, Николай ШЕШЕРА, Денис ГРИГОРОВ

Исследования интенсивности транспортного
потока методом Deep learning

12

НАУКА И ТЕХНИКА

Таисия ШЕПИТЬКО, Святослав ЛУЦКИЙ, Игорь АРТЮШЕНКО

Технологическое регулирование и мониторинг
сооружения земляного полотна в Арктике

26

*Юрий ЦИБАРИУС, Алексей ЛАНИС,
Алексей БЕРДЮГИН, Максим РАЗУВАЕВ*

Стойкость асфальтобетонов к образованию пластической
колеи в зависимости от сдвиговой устойчивости
вязующих материалов

34

Артем РАДА, Николай КОНЬКОВ

Разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна
с применением искусственного интеллекта

40

*Андрей КОСМОДАМИАНСКИЙ, Владимир ВОРОБЬЁВ,
Олег ИЗМЕРОВ, Евгений НИКОЛАЕВ,
Дмитрий ШЕВЧЕНКО*

Повышение тягово-сцепных свойств локомотивов путем
совершенствования экипажной части

47

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

*Татьяна КОНОВАЛОВА, София НАДИРЯН,
Ирина КОТЕНКОВА, Иван СЕНИН*

Методика обеспечения приоритетных условий движения
городского пассажирского транспорта

70

Алексей ТОЛКОВ

Новый подход к определению пропускной способности
автомобильной дороги

81

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. Н. РОЗЕНБЕРГ –
главный редактор
Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
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
М. М. ЖЕЛЕЗНОВ –
д.т.н., профессор, доцент МГСУ
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
Н. А. ФИЛИППОВА –
д.т.н., профессор, доцент МАДИ
В. М. ФРИДКИН –
д.т.н., старший научный сотрудник РУТ
С. С. ЧИБУХЧЯН –
к.т.н., доцент Национального политехнического университета Армении, заместитель Председателя республиканского союза работодателей Армении
В. А. ШАРОВ –
д.т.н., профессор РУТ
А. К. ШЕЛИХОВА –
руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

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

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.
© «Мир транспорта», 2024

Андрей ДЖАНГИРЯН

Изменение принципов международных экономических отношений как фактор развития международного транспортного коридора «Север – Юг» 88

Роман ПАРХОМЕНКО, Ирина БЫКОВА

Большое Евразийское партнерство – «большой» шанс для транспортной отрасли России? 92

Виктор ФИЛИППОВ, Александр ПИЩИК

Организационно-технологические аспекты перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов в контейнерах 96

УСТОЙЧИВОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

Валерий ХАЙТБАЕВ, Евгений ЧЕРНЯЕВ

Оценка влияния транспортно-логистической системы на ресурсосбережение, ключевые региональные экономические показатели и экономическую устойчивость 102

*Александр ПОПОВ, Галина ЧЕРНОВА,
Марина ВЕЛИКАНОВА*

Исследование влияния присутствия пассажира в автомобиле на скорость движения. 118

Марина СИМОНОВА, Лариса САНКОВА, Фарида МИРЗАБАЛАЕВА

Новые вызовы и перспективы развития занятости в секторе воздушного транспорта 124

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Анна КАШЕВСКАЯ

Специальные аббревиатуры и их значение в работе специалистов транспорта. Рецензия на словарь-справочник «Транспортные аббревиатуры. Русские и английские значения» 140

Авторефераты диссертаций 143

Новые книги о транспорте 148

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. Номер подписан в печать 30.05.2024. Тираж 150 экз. Цена свободная. Отпечатано с оригинал-макета ИП Копыльцов Павел Иванович, г. Воронеж, ул. Маршала Неделина, д. 27, кв. 56.

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.

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 22²⁰²⁴
Iss. 2

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

EDITORIAL COUNCIL

Igor N. Rozenberg, D.Sc. (Engineering),
Professor, Corresponding Member of
the Russian Academy of Sciences, Chief
Scientific Officer of Russian University
of Transport, chairman of the Editorial
council

Alexander C. Golovnich, D.Sc.

(Engineering), Associate Professor of
Belarusian State Transport University

Alexander A. Gorbunov, D.Sc. (Political
Science), Professor of Russian University
of Transport

Boris V. Gusev, D.Sc. (Engineering),
Professor, Corresponding Member of the
Russian Academy of Sciences

Alexey D. Gvishiani, D.Sc. (Physics and
Mathematics), Professor, Member of the
Russian Academy of Sciences

Nikolay A. Duhno, D.Sc. (Law),
Professor of Russian University of
Transport

Dmitry G. Evseev, D.Sc. (Engineering),
Professor of Russian University of
Transport

Nikolai S. Kasimov, D.Sc. (Geography),
Professor, Member of the Russian
Academy of Sciences

Vladimir I. Kolesnikov, D.Sc.
(Engineering), Member of the Russian
Academy of Sciences, Professor of
Rostov State Transport University

Constantine L. Komarov, D.Sc.
(Engineering), Professor of Siberian
Transport University

Bakytzhan M. Kuanyshev, D.Sc.
(Engineering), Professor, Deputy
Chairman of KAZPROFTRANS (Republic
of Kazakhstan)

Boris M. Lapidus, D.Sc. (Economics),
Professor

Dmitry A. Macheret, D.Sc. (Economics),
Professor of Russian University of
Transport, First Deputy Chairman of
Joint Scientific Council of JSC Russian
Railways

Gennady G. Matishov, D.Sc.
(Geography), Professor, Member of the
Russian Academy of Sciences

Leonid B. Mirotn, D.Sc. (Engineering),
Professor of Moscow State Automobile
and Road Technical University

Konstantin A. Pashkov, D.Sc.
(Medicine), Professor of the Russian
Academy of Sciences, Professor of A.I.
Yevdokimov Moscow State University of
Medicine and Dentistry

Taisiya V. Shepitko, D.Sc. (Engineering),
Professor of Russian University of
Transport

Aleksander V. Sladkowski, D.Sc.
(Engineering), Professor of Silesian
University of Technology (Republic of
Poland)

Sergey S. Sokolov, D.Sc. (Engineering),
Professor of Russian University of
Transport

Yury I. Sokolov, D.Sc. (Economics),
Professor of Russian University of
Transport

Anatoly A. Soloviev, D.Sc. (Physics and
Mathematics), Corresponding Member
of the Russian Academy of Sciences,
Professor of the Russian Academy of
Sciences

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

Victor Ya. Tsvetkov, D.Sc. (Economics),
D.Sc. (Engineering)

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Igor N. ROZENBERG, Sergey K. DULIN

On Formation of Geospatial Knowledge Based
on Transformation of Geo-Descriptions 150

Igor N. PUGACHEV, Nikolay G. SHESHERA, Denis E. GRIGOROV

Traffic Flow Intensity Research Based on Deep Learning 156

SCIENCE AND ENGINEERING

Taisiya V. SHEPITKO, Svyatoslav Ya. LUTSKY,

Igor A. ARTYUSHENKO

Technical Regulation and Monitoring of Subgrade
Construction in the Arctic 170

Yury A. TSIBARIUS, Alexey L. LANIS,

Alexey N. BERDYUGIN, Maxim A. RAZUVAEV

Resistance of Asphalt Concrete to Plastic Rutting
Depending on Shear Resistance of Binders 178

Artem O. RADA, Nikolay Yu. KONKOV

Development of an Algorithm for Analysing the Condition
of the Road Surface Using Artificial Intelligence 184

Andrey S. KOSMODAMIANSKY, Vladimir I. VOROBYOV,

Oleg V. IZMEROV, Evgeny V. NIKOLAEV,

Dmitry N. SHEVCHENKO

Improving Locomotive Traction and Adhesion Properties
by Improving the Undercarriage 190

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS

Tatiana V. KONOVALOVA, Sofia L. NADIRYAN,

Irina N. KOTENKOVA, Ivan S. SENIN

Methodology for Providing Priority to Urban
Passenger Transport Traffic 212

Alexey V. TOLKOV

A New Approach to Determining Road Capacity. 223

EDITORIAL BOARD

Igor N. Rozenberg, Editor-in-Chief

Evgeny Yu. Zarechkin, Deputy Editor-in-Chief

BOARD MEMBERS

Evgeny S. Ashpiz, D.Sc. (Engineering), Associate Professor of Russian University of Transport

Leonid A. Baranov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Alexander M. Belostotskiy, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Galina V. Bubnova, D.Sc. (Economics), Professor of Russian University of Transport

Yury A. Bykov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Suren S. Chibukhchyan, Ph.D. (Engineering), Associate Professor of the National Polytechnic University of Armenia, Vice-Chairman of National Employer's Union

Victor S. Fedorov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Vladimir M. Fridkin, D.Sc. (Engineering), senior researcher of Russian University of Transport

Victor A. Grechishnikov, D.Sc. (Engineering), Associate Professor of Russian University of Transport

Valeriy I. Kondraschenko, D.Sc. (Engineering), senior researcher of Russian University of Transport

Alexey A. Loktev, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of Russian University of Transport

Svyatoslav Y. Lutskiy, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Nadezhda A. Filippova, D.Sc. (Engineering), Professor, Associate Professor of MADI university

Oleg E. Pudovikov, D.Sc. (Engineering), Associate Professor of Russian University of Transport

Victor A. Sharov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Alla K. Shelikhova, head of Editorial office

Vladimir N. Sidorov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Natalia P. Teryoshina, D.Sc. (Economics), Professor of Russian University of Transport

Maxim M. Zheleznov, D.Sc. (Engineering), Professor, Associate Professor of MGSU university

Vladimir B. Zylyov, D.Sc. (Engineering), Professor of Russian University of Transport

Andrei V. DZHANGIRYAN

Changes in the Principles of International Economic Relations as a Factor in Development of the International North–South Transport Corridor 230

Roman N. PARKHOMENKO, Irina V. BYKOVA

Greater Eurasian Partnership – a «Great» Chance for the Russian Transport Industry? 234

Victor N. FILIPPOV, Alexander V. PISHCHIK

Organisational and Technological Aspects of Transport of Especially Valuable Goods in Rail Containers 238

SUSTAINABILITY, SAFETY, ENVIRONMENT

Valery A. KHAITBAEV, Evgeny V. CHERNIAEV

Assessment of the Impact of the Transport and Logistics System on Resource Efficiency, Key Regional Economic Indicators and Economic Sustainability 244

Alexander V. POPOV, Galina A. CHERNOVA, Marina V. VELIKANOVA

A Study of Influence of Presence of a Passenger on Driving Speed 259

Marina V. SIMONOVA, Larisa V. SANKOVA, Farida I. MIRZABALAEVA

New Challenges and Prospects for the Development of Employment within Aviation Industry 265

BIBLIO-DIRECTIONS

Anna M. Kashevskaya

Special Abbreviations and their Significance for the Work of Transport Specialists. Review of the dictionary-reference book «Transport abbreviations. Russian and English meanings» 280

Selected Abstracts of Ph.D. Theses Submitted to Russian Transport Universities 283

New Books on Transport and Transportation 288

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

111 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 150 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, etc.

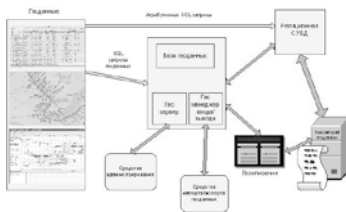
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.



ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

6

Геоописания для актуализации геоинформации в информационной среде ГИС. Реализация системы преобразования геоописаний на основе среды функционального программирования.



ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ

12

Исследования интенсивности транспортного потока методом Deep learning. Предварительное преобразование данных с целью их подготовки к обработке методами машинного обучения.



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 004.9

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-1>

О формировании геопространственных знаний на основе преобразования геоописаний



Игорь РОЗЕНБЕРГ



Сергей ДУЛИН

Игорь Наумович Розенберг¹,
Сергей Константинович Дулин²

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва, Россия.

² Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (ОАО «НИИАС»), Москва, Россия.

¹ ORCID 0000-0001-9589-6783; Scopus Author ID: 15136568900; РИНЦ SPIN-код: 2958-4186; РИНЦ Author ID: 652172.

² РИНЦ SPIN-код: 7190-4891; РИНЦ Author ID: 3320.

✉ ² skdulin@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В рамках проблемы формализации и представления геоинформационных структур в информационной среде ГИС представлен подход, позволяющий упростить методы работы с атрибутивными характеристиками геоанных, основанный на использовании возможностей функционального программирования. В работе рассматриваются вопросы, связанные с формированием, сопоставлением и преобразованием геоописаний для актуализации геоинформации в информаци-

онной среде ГИС. Для осуществления преобразования геоописаний предложено упрощение формирования инструмента для представления геоинформации и набора геотекстов. Описанный в работе подход основывается на выборе парадигмы функционального программирования, реализованной в виде аналитических машин, что позволяет осуществлять преобразование геоописаний на различных геоязыках и поддерживать репозиторий геоанных в актуальном состоянии.

Ключевые слова: ГИС; формирование, сопоставление и преобразование геоописаний; средства функционального программирования.

Для цитирования: Розенберг И. Н., Дулин С. К. О формировании геопространственных знаний на основе преобразования геоописаний // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-1>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Обработка геоинформации с подключением знаковой системы обозначений вызывает ограничения при реализации семантической обработки георесурсов, которые обусловлены слабой стандартизацией атрибутивной и визуальной геоинформации и некачественными структурами ее описания, которые необходимы для создания взаимосвязанной совокупности георесурсов. Описания геоданных ввиду их гетерогенности невозможно представить исключительно в лингвистической форме, поэтому может оказаться продуктивной идея разработки подхода на основе функционального программирования, что позволило бы поставить в соответствие геоданным инкапсулированные функции их обработки, в какой-то степени отображающие их семантику [1; 2]. Предлагаемый подход позволит расширить систему используемых геоописаний различной геоязыковой принадлежности, включая представление визуальных геознаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Два научных направления развития картографических систем

Синтез картографии и семиотики обеспечил зарождение новой научной дисциплины – картосемиотики, которая включала в себя анализ, интерпретацию и преобразование знаковых картографических систем.

Картосемиотика использует лингвистические описания в геоинформатике и дает возможность представлять атрибутивные характеристики карт, такие как условные обозначения и легенды, с помощью специальных языковых конструкций карт с модельной и содержательной составляющими.

С течением времени в картосемиотике были зафиксированы пять разделов, так или иначе связанных с созданием геоописаний: картосемиотический, картолингвистический, формально-логический, кибернетический и субязыковый. Тем не менее, формально-логический и субязыковый разделы не претерпели существенного развития и носят маргинальный характер.

Картосемиотика, будучи, по сути, прикладной семиотикой, включает в себя аналогичные семиотике три составные части: 1) картографический синтаксис знаковых совокупностей; 2) картографическая семантика, связанная с анализом смысла используемых знаков, корреспондирующих с описываемыми георесур-

сами; 3) картографическая прагматика, которая позволяет измерить утилитарность используемых знаков в зависимости от степени осведомленности и профессиональной подготовки потребителей георесурсов. Центральным звеном картосемиотики является разработка языка карты – корректной и непротиворечивой знаковой системы, предназначенной для отображения картографической информации. Качество языка карты характеризует уровень развития средств представления геознаний и возможности визуализации картографической информации. Наиболее значимый вклад в становление языка карты внес А. А. Лютый [3]. Созданный им язык карты включает два подязыка: один позволяет представить состав геообъектов, а другой представляет геометрию и топологию геообъектов. Повышение требований к организации георесурсов привело к бурному росту предложений и дополнений в области разработки геостандартов, позволивших более полно и точно формировать представления геознаний на основе вводимых геоописаний.

А. А. Лютый рассматривал три формы представления геознаний: «невербальные знания, вербальные знания и знания, представимые и в вербальной, и в невербальной формах» [3]. Из этого следует, что карты, аэрофотоснимки, литологические и стратиграфические колонки, геодиаграммы, палеотектонические схемы, геохимические диаграммы и схемы корреляции представляют собой не что иное, как разнообразные геотексты.

В качестве одного из наиболее значимых вкладов А. А. Лютого в геоинформатику можно указать разработку семиотики геоинформации, названной им «геосемиотикой» [3]. В геосемиотике географические концепции подразделяются на пять категорий (рис. 1).

А. А. Лютый изучал проблему соотношения образного и вербального в рамках задачи геосемантического описания геопространства для

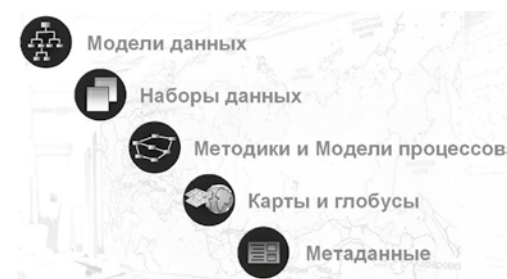


Рис. 1. Категории географических концепций.





Рис. 2. Задачи сопоставления геоописаний.

разработки электронного образа Земли. Его исследования о расположении и взаимовлиянии элементов геопространства позволили решать задачи геоинформатики на основе геоописаний.

Задачи сопоставления геоописаний

Гетерогенность геоданных обуславливает большие затраты на создание, хранение, обработку и поддержку геоописаний. Дополнительную нагрузку вызывает их интероперабельность из-за не коррелируемых форматов и различия поставщиков геоданных и программных сервисов. Задача сопоставления геоописаний для их совместного согласованного использования является важным мероприятием, требующим программных, технологических и лингвистических решений [4; 5]. Для совместного использования геоданных на основе сопоставления геоописаний нужен семантический уровень интероперабельности, но автономность разрабатываемых программных систем приводит к локализации специфики геоописаний. Попытки интеграции разнородных геоописаний с не коррелируемыми форматами приводят к затратам на согласование противоречивых моделей геоданных, превышающим собственно разработку геоописаний.

Проектируемые базы геоданных чаще всего имеют персонифицированный или ведомственный характер, что требует дополнительных мероприятий для их совместного использования. Если при этом базы геоданных имеют тенденцию к перманентному пополнению, то возникают дополнительные требования к масштабируемости ГИС и разработке моделей сопоставления геоописаний, обеспечивающих непротиворечивость и целостность геоданных.

Сопоставление геоописаний включает процедуры обработки ссылок и установления связей между разными уровнями детализации

для реализации интероперабельности между сопоставляемыми геообъектами [6]. Интероперабельность необходима для функциональной совместимости и корректного сопоставления геоданных разной детализации.

Дополнительные сложности вызывает наличие мультилингвальности геоописаний, которая является не таким уж редким явлением. Совокупное геоописание строится на основе синтеза геоописаний, представленных на разных естественных языках. Задачи сопоставления геоописаний на разных языках представлены на рис. 2.

Успешное сопоставление геоописаний обеспечивает:

- улучшение информативности;
- повышение семантики геоописания;
- выявление качества геоописаний;
- повышение интероперабельности экспертов-аналитиков;
- апробацию методов сопоставления геообъектов;
- разработку методов преобразования геоописаний.

Формирование геоописаний

Содержимое геоинформационного портала не исчерпывается визуальной картографической информацией. В базе геоданных содержится и обрабатывается большое количество атрибутивных (семантических) данных в виде разного характера текстов и документов. Геоинформационный портал, как отмечал А. А. Лютый, представляет собой «электронную библиотеку с геотекстами на разных естественных языках». Гетерогенность геоданных приводит к семиотической неоднородности геотекстов, хранящихся на геоинформационном портале. С позиции запросно-ответного режима базы данных обработка существующих геотекстов должна обеспечивать получение запрашиваемой информации. На рис. 3 изображены блоки, обеспечивающие анализ и обработку геоданных, представленных геоописаниями в виде геотекстов.

Геоинформационное пространство для создания и сопровождения геоописаний представляет собой синергию информационного наполнения ГИС, среды хранения репозитория и программ, ориентированных на манипулирование необходимыми геоданными. Следует отметить специфику репозитория геоданных, который выполняет роль коорди-

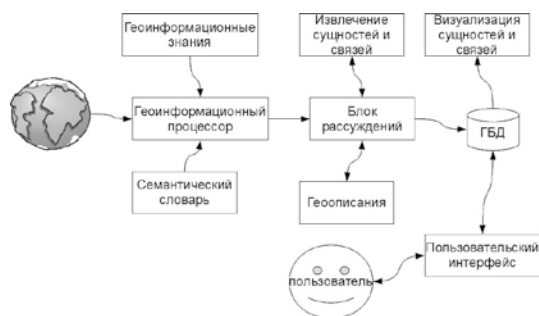


Рис. 3. Анализ и обработка геоописаний в виде геотекстов.

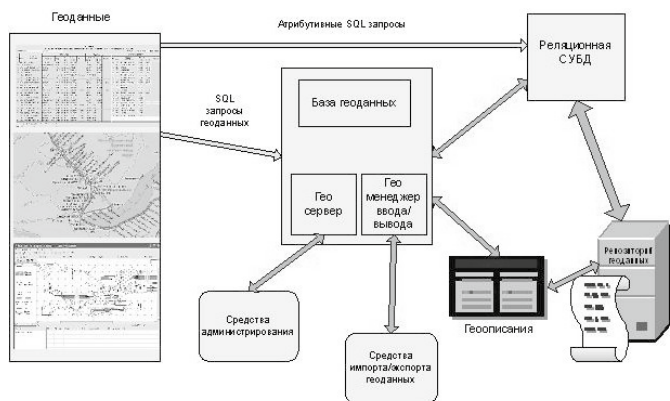


Рис. 4. Геоинформационное взаимодействие геоописаний.

натора реализации сопоставления геоописаний с другими геоописаниями, обеспечивая релевантную интероперабельность геоописаний (рис. 4).

Преобразование геоописаний

Необходимость преобразования геоописаний возникает, если требуется проанализировать и сопоставить мультилингвальные геоописания, синтезируя взаимодополненные релевантные геоописания. Возможно, такое преобразование имеет наибольшее значение для формирования репозитория геоданных ввиду меньшего количества ограничений на хранимые структуры по сравнению с базой геоданных.

Лингвистический характер задачи преобразования геоописаний делает ее похожей на задачу перевода естественно-языковых текстов с помощью специальных программ, осуществляющих межязыковое преобразование [7]. Если выбрать сильно формализованный геоязык, на котором выполнено геоописание, то можно существующие методы межязыкового преобразования использовать при преобразовании геоописаний.

Ключевой идеей предлагаемого подхода к анализу геоязыковых структур является

простое предложение: представлять грамматические правила в виде функций в математическом смысле, то есть в виде отображения вида $A \rightarrow B$, где A и B – некоторые конечные множества. Для каждого из геоязыков существует соответствующая аналитическая машина, благодаря которой грамматический разбор можно выполнить в автоматическом режиме, то есть посредством вычислительных процедур. Использование аналитической машины, основанной на парадигме функционального подхода, предполагает, что будет проводиться анализ нормализованных текстов на естественном языке. Нормализованный текст – это текст, обработанный синтаксическим и/или морфологическим анализатором. В качестве еще одного ограничения следует отметить необходимость задания предметной области анализируемого геотекста.

Подход к описанию правил грамматики, как к заданию математической функции (с ее областью определения и областью значения) дает возможность при программной реализации аналитической машины применить парадигму функционального программирования, в основе которого лежат чистые функции и неизменяемые структуры данных. Следует также отметить, что использование среды



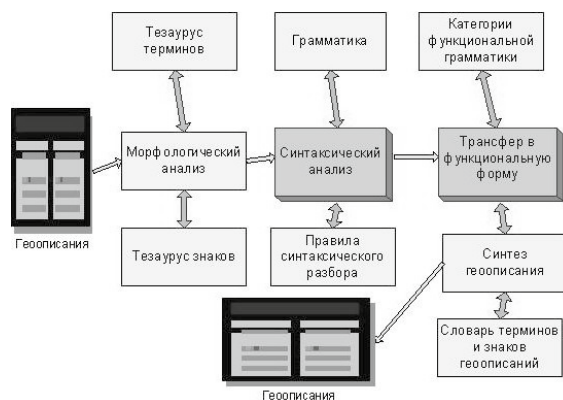


Рис. 5. Блоки преобразования геоописаний.

функционального программирования как аналитической машины дает возможность проектировщику использовать кортежи и «функции-защитники».

«Атомом» назовем любой однозначно определенный идентификатор. Атомы предназначены для задания атрибутивных характеристик атрибутов геоязыка. Таким образом, задаются все возможные атрибутивные характеристики геоязыковых структур, и формализм функционального программирования оказывается достаточным формализмом для анализа геоязыковых структур, так что нет необходимости использовать какие-либо другие математические средства.

Использование в качестве инструмента аналитической машины на основе языка функционального программирования позволит спроектировать аналитическую машину, реализующую формальные правила преобразования геоописаний в виде математических функций.

Основываясь на грамматике функционально заданных геотекстов и выбрав среду функционального программирования [8; 9], можно получить аналитическую машину для осуществления анализа геотекстов, релевантных выбранной грамматике. Кроме того, выбор среды функционального программирования открывает разработчикам доступ к управлению на уровне таких структур, как атомы языка и кортежи, при обработке атрибутивных характеристик геоописаний.

Определение свойств атрибутов приобретает здесь другое значение. При переходе на уровень кортежей и атомов в функциональном языке работа с характеристиками атрибутов уже не является прерогативой базы геоданных, эту нагрузку берет на себя язык функционального программирования. Соот-

ветственно, поддержка целостности и обработки характеристик атрибутов осуществляется с помощью функционального языка, а не геоинформационной системы. Это обстоятельство сильно упрощает создание аналитической машины для преобразования геоописаний, ввиду того, что работа с характеристиками атрибутов происходит вне геоинформационной модели.

Основным преимуществом использования функционально-вычислимых грамматик [9] при работе с атрибутивными характеристиками геоописаний является то, что правила грамматики уже являются элементами функционального языка программирования, что упрощает решение ряда вопросов при проектировании геоинформационной системы, таких как разрешение неоднозначностей трактовки правил или задание самих правил. При этом при задании правил существует возможность использования как средств самого функционального языка, так и его расширений, таких как «функции-защитники», которые позволяют задавать правила в гибкой форме, что в свою очередь позволит сделать работу с атрибутивными характеристиками геоописаний более адаптируемой для решаемой задачи.

Таким образом, имея формализованные атрибутивные характеристики геоописаний и набор правил грамматики, заданный в функциональном виде, можно для их обработки использовать язык функционального программирования и не проектировать отдельно аналитическую машину, а также вынести обработку правил из геоинформационной модели.

Следует заметить, что описанный выше подход позволяет не только анализировать атрибутивные характеристики геоописаний,

но и генерировать их в необходимом виде для дальнейших задач системы.

Система преобразования геоописаний представлена на рис. 5.

Нетрудно заметить, что этапы обработки при преобразовании геоописаний аналогичны этапам обработки при межъязыковой трансформации [10; 11]. Морфологический и синтаксический анализаторы, как было отмечено выше, необходимы для получения нормализованного геотекста, который передается на блок трансфера в функциональную форму. Средства функционального программирования используют грамматические правила, синтезируя функциональный вид геоописания. Завершающая стадия полученного геоописания может обеспечить перевод его на другой геоязык.

Предложенная схема преобразования геоописаний ориентирована на обеспечение возможности при работе с ГИС обрабатывать геоописания, представленные на разных геоязыках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен подход, позволяющий учитывать семантику геообъектов за счет анализа и преобразования геоописаний их атрибутивных характеристик. Возможность упрощения обработки атрибутивных характеристик геоданных основана на использовании средств функциональных языков программирования. Рассмотрены вопросы, связанные с формированием, сопоставлением и преобразованием геоописаний для актуализации геоинформации в информационной среде ГИС. Для осуществления преобразования геоописаний предложено упрощение формирования инструмента на основе парадигмы функционального программирования для представления геоинформации и набора геотекстов на различных геоязыках.

Реализация системы преобразования геоописаний на основе среды функционального программирования позволит решить задачу

преобразования геоописаний аналогично преобразованию межъязыковых текстов.

В качестве дальнейшего исследования в области геоописаний предполагается разработка специализированной среды функционального программирования, предназначенной для решения задач обработки и анализа геоописаний.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Никишин Д. А. Проблемы обеспечения семантической геоинтероперабельности и согласования понимания семантики геоданных // Системы и средства информатики. – 2016. – Т. 26. – № 1. – С. 86–108. DOI: 10.14357/08696527160107.
2. Тарасов В. Б. Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): Материалы V Международной научно-техн. конференции (Минск, 19–21 февраля 2015). – 2015. – № 5. – С. 25–42. EDN: ZIAXUN.
3. Лютий А. А. Язык карты: сущность, система, функции – М.: ГЕОС, 2002. – 327 с. ISBN 5-89658-018-5.
4. Shihong Du, Qimin Qin, Qiao Wang, Haijian Ma. Evaluating structural and topological consistency of complex regions with broad boundaries in multi-resolution spatial databases. Information Sciences, 2008, Vol. 178, Iss. 1, pp. 52–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.07.023>.
5. Schreiber, G. Knowledge acquisition and the web. International Journal of Human-Computer Studies, 2013, Vol. 71, pp. 206–210. [Электронный ресурс]: <https://www.cs.vu.nl/~guus/papers/Schreiber13a.pdf>. Доступ 17.04.2024.
6. Макаренко С. И., Олейников А. Я., Черницкая Т. Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 215–245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
7. Козеренко Е. Б. Лингвистическое моделирование для систем машинного перевода и обработки знаний // Информатика и ее применения. – 2007. – Т. 1. – № 1. – С. 54–65. EDN: KVICUX.
8. Душкин Р. В. Функциональное программирование на языке Haskell. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 608 с. ISBN 5-94074-335-8.
9. Дулин С. К., Ермаков П. В. Функционально-вычислимые грамматики в задачах анализа текстов на естественном языке – М.: ВЦ РАН, 2011. – 22 с.
10. Dulina, N., Kozhunova, O. Information monitoring system: a problem of linguistic resources consistency and verification // Третья международная конференция «Проблемы кибернетики и информатики» (PCI'2010) – Баку: Elm, 2010. – С. 56–58.
11. Козеренко Е. Б. Лингвистические аспекты информатики // Системы и средства информатики // Специальный выпуск «Научно-методические проблемы информатики». – 2006. – № 16. – С. 88–111. [Электронный ресурс]: http://www.ipiran.ru/journal/collected/2006_16a/01-03.pdf. Доступ 15.02.2024. ●

Информация об авторах:

Розенберг Игорь Наумович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, научный руководитель Российского университета транспорта, Москва, Россия, info@science-rut.ru.

Дулин Сергей Константинович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; главный научный сотрудник Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (ОАО «НИИАС»), Москва, Россия, skdulin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.02.2024, одобрена после рецензирования 29.04.2024, принята к публикации 15.05.2024.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 004.9

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-2>

Исследования интенсивности транспортного потока методом Deep learning



Игорь ПУГАЧЕВ



Николай ШЕШЕРА



Денис ГРИГОРОВ

*Игорь Николаевич Пугачев¹, Николай Геннадьевич Шешера², Денис Евгеньевич Григоров³*¹Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия.^{2,3}Дальневосточный юридический институт МВД России, Хабаровск, Россия.¹ ORCID 0000-0003-0345-4350; Web of Science Researcher ID: ABY-8399-2022; Scopus Author ID: 56386223400; PИИЦ SPIN-код: 1856-1556; PИИЦ Author ID: 416392.² ORCID 0009-0006-3302-5572; Web of Science Researcher ID: LCI-5197-2024; Scopus Author ID: 57209470019; PИИЦ SPIN-код: 9869-8822; PИИЦ Author ID: 1033608.³ ORCID 0009-0005-4049-9488; Scopus Author ID: 57209470019; PИИЦ SPIN-код: 6146-4152; PИИЦ Author ID: 1084181.✉ ² kolyaka239@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В гармоничной транспортной системе автомобильные потоки рационально распределяются в зависимости от возможностей дорог и улиц по обеспечению пропускной способности с учетом систем регулирования. При этом не уделяется должного внимания изменениям погодных и природных условий, что в свою очередь значительно корректирует режимы движения, выводя их из стабильного, прогнозируемого состояния. Современные программно-аппаратные комплексы и информационные ресурсы больших городов имеют широкий диапазон регистрируемых показателей, оказывающих влияние на распределение транспортных потоков. Их автоматизированная обработка с использованием алгоритмического инструментария машинного обучения сформировала комплексное представление о закономерностях изменения показателя интенсивности, что является новым этапом повышения безопасности дорожного движения, стремящейся к нулевой смертности.

Научная новизна предлагаемого исследования заключается в приемах и подходах к исследованию погодно-климатических характеристик и факторов улично-дорожной сети, их предварительной обработке с использованием современных статистических и логических методов нормализации и исключения случайных выбросов.

Ключевые слова: транспортные системы, интенсивность транспортного потока, метод глубокого обучения, погодные и природные условия, нейронные сети, модель.

Метод глубокого обучения открывает широкие возможности для анализа интенсивности транспортного потока. Путем обработки больших объемов данных такие алгоритмы способны выявлять сложные паттерны и взаимосвязи, что позволяет улучшить прогнозирование движения транспорта и оптимизировать управление его потоками. Для корректной работы нейронной сети по обучению модели и исследования интенсивности транспортного потока разработан комплекс программных инструментов по предварительной обработке данных, который включает поэтапный анализ структур массивов с последующей заменой значений или исключением ошибок.

После предварительной очистки данных в соответствии с синтаксисом программной логики и правилами статистического анализа был применен метод поиска и исключения аномалий – метод изолированного леса.

Данное направление вошло в состав большого исследования интенсивности транспортного потока, а продемонстрированные результаты являются совокупностью решений на основе системного взаимодействия разработанных авторами программ и методик статистических и аналитических преобразований.

Для цитирования: Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Исследования интенсивности транспортного потока методом Deep learning // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 12–24. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-2>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития информационных технологий предлагают широкий перечень возможностей анализа данных. Большое количество признаков дает возможность сформировать шаблоны распределения транспортных сред и в каждой рассмотреть погодные условия¹ [1].

Искусственный интеллект (ИИ) является одной из перспективных областей в современной науке и технологиях. В последние десятилетия с использованием ИИ были созданы системы способные выполнять сложные задачи, требующие интеллектуальных навыков [2; 3].

Современный ИИ способен анализировать окружающую среду и взаимодействовать с ней, интерпретировать и перерабатывать данные, обучаться и адаптироваться по мере развития. Именно поэтому главной задачей работы является подготовка данных для объективной оценки исследуемого явления.

ИИ находит применение во многих областях, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка, робототехнику, автономные транспортные средства, медицину, финансовую аналитику и т.д. В каждой из этих областей ИИ позволяет автоматизировать процессы, улучшать прогнозы и принимать решения на основе большого объема данных и анализа сложных моделей.

Принципы ИИ основываются на различных подходах и методах по созданию компьютерных систем, способных анализировать данные, обучаться и принимать решения на основе полученной информации. Методы машинного обучения, нейронные сети и глубокое обучение – основные инструменты в достижении этой цели.

В данной работе для прогнозирования интенсивности транспортного потока характеристики улично-дорожной сети (УДС) являются классификатором для категоризации транспортных сооружений, а погодные условия – независимыми переменными, по которым будет прогнозироваться изменения зависимой [4].

В работе присутствуют сложные элементы программирования. Первые операции будут поясняться, а для остальных,

подобного рода, с целью снижения дублирующей информации, комментарии будут отсутствовать.

Рабочее окно среды для разработки PyCharm имеет пронумерованные строчки. Команды будут поясняться, ссылаясь на номер строчки приведенного скриншота рабочего поля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Архитектура нейронной сети обратного распространения

С целью подтверждения влияния погодных условий, геометрических элементов дорог и характеристик движения на интенсивность транспортного потока, а также проверки прогностических возможностей была использована нейронная сеть обратного распространения (BackPropagation)².

Нейронная сеть обратного распространения – это тип нейронных сетей, который использует алгоритм обратного распространения ошибки для обучения. Основная идея заключается в том, что сеть проходит через два этапа: прямое распространение, где входные данные передаются от входного слоя через скрытые слои к выходному слою, и обратное распространение ошибки, где происходит корректировка весов сети [5; 6].

Процесс обратного распространения ошибки начинается с вычисления ошибки на выходном слое. Затем эта ошибка распространяется обратно через слои сети, пропорционально весам связей между нейронами, и рассчитывается ошибка на каждом слое [8; 9]. Далее, веса нейронов корректируются в направлении, противоположном градиенту ошибки, для уменьшения ошибки при последующих проходах по сети.

Для алгоритма обратного распространения ошибки необходимо определить ее функцию. Она измеряется разностью между ожидаемыми значениями и предсказанными. Среднеквадратичная ошибка (mean squared error) является наиболее распространенной для задач регрессии и перекрестной энтропии (cross entropy) для задач классификации [10].

Во время обучения сеть проходит через несколько эпох, где каждая эпоха представ-

¹ ОДМ 218.4.005-2010. Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах.

² Эксплуатация автомобильных дорог: Учеб. пособие / сост.: И. Н. Пугачев, А. В. Каменчуков, Н. С. Нестерова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2022. – 168 с.



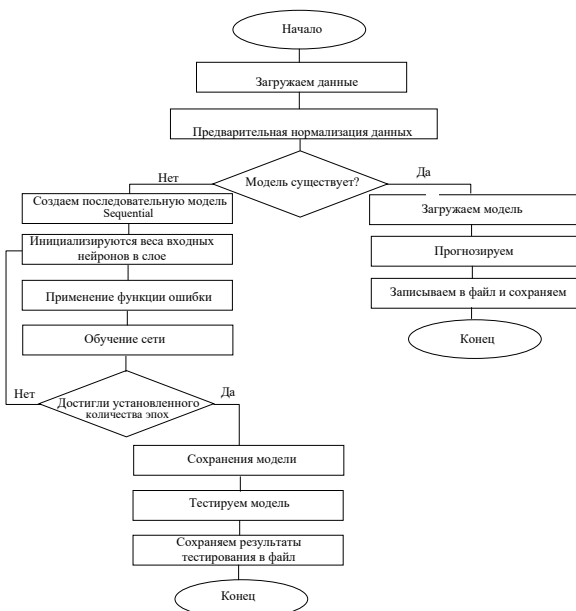


Рис. 1. Блок-схема нейронной сети обратного распространения [выполнено авторами].

ляет собой один проход по всем тренировочным примерам [11; 12]. Веса сети настраиваются таким образом, чтобы минимизировать ошибку на тренировочных данных.

Архитектуру нейронной сети было решено сформировать на языке программирования Python, используя надстройку Keras низкого уровня библиотеки TensorFlow [13].

Keras был разработан с целью облегчить и ускорить процесс разработки моделей глубокого обучения. Он предоставляет высокоуровневые абстракции для построения нейронных сетей, скрывая от разработчика большую часть сложности и деталей низкоуровневых библиотек.

Архитектура нейронной сети обратного распространения состоит из нескольких основных компонентов:

1. *Входной слой* – принимает на вход данные, которые подаются на вход нейронной сети. В этом слое количество нейронов соответствует размерности поступающих данных.

2. *Скрытые слои* – выполняют промежуточные вычислительные операции. В зависимости от конкретной задачи или архитектуры нейронной сети изменяется количество скрытых слоев и нейронов в них. Каждый нейрон в скрытом слое берет на вход значения активации предыдущего слоя и вычисляет свое значение активации на основе весов, которые связывают его с предыдущим слоем.

3. *Выходной слой* – выполняет прогноз. Количество нейронов в выходном слое зависит от задачи классификации или регрессии. Например, если решается задача бинарной классификации, то в выходном слое будет один нейрон, отвечающий за вероятность принадлежности к одному классу.

4. *Функция активации сети* – используется для нелинейного преобразования входных данных. Наиболее распространенными функциями активации являются sigmoid, tanh и ReLU.

5. *Обратное распространение ошибки* – алгоритм для обновления весов в нейронной сети. Он вычисляет градиент функции ошибки по всем весам и использует его для обновления весов, чтобы минимизировать ошибку предсказания.

6. *Оптимизатор* – применяет оптимизационный алгоритм для обновления весов в нейронной сети на основе градиента ошибки. Некоторые популярные оптимизаторы включают в себя стохастический градиентный спуск (SGD), Adam и RMSprop.

7. *Функция потерь* – определяет, насколько хорошо нейронная сеть справляется с поставленной задачей. Она вычисляет разницу между предсказанными значениями и истинными значениями и используется в обратном распространении ошибки для вычисления градиента.


```

1 import os
2 import pandas as pd
3
4 df = pd.read_csv(os.getcwd() + '/dataset.csv', sep=";")
5 n = df.groupby('frontier') #Сортируем по рубежам
6 grp_idx = n.groups
7 for key in grp_idx.keys():
8     r = n.get_group(key)
9     #r.drop(columns=r.columns[8], axis=1, inplace=True) # убираем лишний столбец
10    #r.drop(columns=r.columns[16], axis=1, inplace=True) # убираем лишний столбец
11    r.to_csv(os.getcwd() + '/output/r/' + str(key) + '.csv', sep=";", encoding="utf-8-sig")

```

Рис. 2. Модуль – *explode_start*. Сортировка данных по рубежам и формирование файлов [выполнено авторами].

Основные компоненты архитектуры нейронной сети обратного распространения могут быть изменены и модифицированы в зависимости от конкретной задачи и требований [14; 15].

Блок-схема нейронной сети представлена на рис. 1.

Изначально структура нейронной сети строилась на анализе данных без предварительной обработки и валидации [16]. Тестирование модели после обучения показало неэффективность прогноза. Это связано с большим количеством входящих нейронов. Поэтому было принято решение сгруппировать количественные признаки. В результате пришлось изменить подходы к созданию нейронной сети [17].

Для реализации программы по приведенному выше алгоритму в интегрированной среде разработки PyCharm было создано виртуальное окружение. Это, в первую очередь, необходимо было сделать для более удобного управления зависимостями проекта, то есть сделать процесс разработки более удобным и сконцентрированным.

В созданном виртуальном окружении размещены модули (файлы с расширением «py»). Они используются для управления зависимостями проекта, создания изолированной среды разработки и работы с различными версиями пакетов и библиотек.

Проект состоит из трех этапов:

- 1) формирование данных;
- 2) валидация данных;
- 3) обучение модели.

Формирование данных

Статистические данные импортированы в директорию виртуального окружения проекта в формате файла *csv*. Такое расширение применяется для удобства хранения данных

(в виде текста), чтобы было удобно их обрабатывать и передавать [18].

Для исследования влияния погодных, природных условий и геометрических элементов дорог на интенсивность транспортного потока было собрано и сгруппировано 562612 часов с различными характеристиками со 107 рубежей. Предварительная обработка данных всего массива показала плохие результаты влияния независимых признаков на зависимый. Объясняя это недостаточным перечнем анализируемых факторов, было решено каждый рубеж анализировать отдельно, с перспективой создать не одну, а 107 моделей для прогнозирования. Таким образом, будет исключено влияние неучтенных статических независимых переменных [19; 20].

Для достижения поставленной выше цели с учетом правил обработки нейронной сетью из одного файла со всеми данными требовалось сформировать 107 файлов с расширением *csv*. В каждом из них – данные конкретного рубежа.

Для сортировки генеральной совокупности по рубежам с последующим формированием файлов был создан и запущен алгоритм *explode_start.py* (рис. 2), который находится в корне приложения.

В модуле *explode_start* были импортированы функции операционной системы – OS (*import os*) для обеспечения чтения файлов и библиотека *pandas* (*import pandas as pd*) для работы с данными (рис. 2). Дополнительно, к библиотеке применяется *alias* (переименование для простого обращения к библиотеке) с упрощением его названия до *pd*.

На четвертой строчке программа «читает» файл, дополнительно был указан вид сепаратора – точка с запятой.

На пятой строчке делается группировка по рубежам.



На шестой строчке программа получает список рубежей.

С седьмой строки в цикле поочередно программа перебирает рубежи и сохраняет их в отдельные файлы, записывая в наименование их номер.

После выполнения скрипта *explode_start* в директории *r*, следуя динамическому маршруту *'/output/r/'* (рис. 2), появляются файлы с данными о рубежах (рис. 3).

Подготовка данных

После формирования файлов с рубежами для исключения ошибок при обучении необходима подготовка данных, которая будет включать контроль отсутствия значений в позиции (предупреждать оператора, заменять на 0, удалять всю строку и т. п.) и диапазон допустимых величин, валидацию и т. д. [21].

Для подготовки данных был создан и запущен алгоритм *validate_start* (рис. 4).

Командой *«from app.validator import start as validate»* была импортирована функция валидации *«start»* из модуля *«validator»* директории *«app»* (рис. 5).

В цикле алгоритма *validate_start* (рис. 4) программа получает список файлов из директории */output/r*, перебирая их по одному. На шестой строчке разъединяется название файла по разделителю – точка. В результате чего получается массив из двух частей. Первая часть (нулевая) – это имя файла, вторая часть (единица) – это расширение. В данной функции учитывается только имя файла.

На восьмой строчке, используя функцию *start* (переименованной в *predict*), из модуля *validator* запускается валидация (рис. 5).

При выполнении алгоритма программы модуль *validator* импортируются вспомогательные функции и переменные из директории *columns* (*app/domain/columns*) и модуль *logger* из директории *helpers* (*app/domain/helpers*).

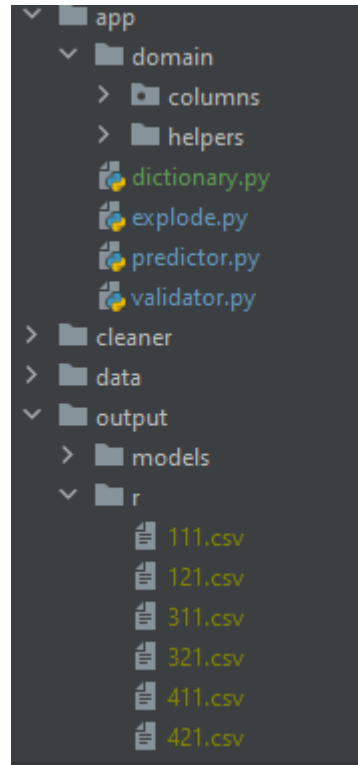


Рис. 3. Сформированные файлы с рубежами в директории виртуального окружения проекта [выполнено авторами].

Задача модуля *logger* менять цвет шрифта сообщения, которое выводится в консоль (оформление не обязательно в работе, поэтому детализация алгоритма данного модуля опускается).

Учитывая, что *columns* – это директория, а не исполняемый файл, то по умолчанию в нем инициализируется модуль *_init_*. Соответственно, строчкой 2 (рис. 5) импортируются в модуль *validator* из модуля *_init_* методы *names_input* и *names_output* – это инкапсуляция, один из принципов объектно-ориентированного программирования, сокрытия реализации для обеспечения возможности внедрения дополнительной логики в формирование *names_input* и *names_output* (список названий колонок входных параметров, которые используются в шапке данных) (рис. 6, 7).

```

1  import os
2
3  from app.validator import start as validate
4
5  for file in os.listdir(os.getcwd() + '/output/r'):
6      split = os.path.splitext(file)
7      filename = split[0]
8      validate(True, filename)

```

Рис. 4. Скрипт *validate_start* [выполнено авторами].

```

1  import os
2  from app.domain.columns import names_input
3  from app.domain.columns import names_output
4  from app.domain.columns import validators as get_validators
5  from app.domain.helpers import logger
6  import pandas as pd
7  # NSheshera *
8  def start(need_train, filename):
9      # 1-й шаг - готовим данные
10     data = pd.read_csv(os.getcwd() + '/output/r/' + filename + '.csv', sep=';')
11     validators = get_validators()
12     new_array = dict()
13     for data_name, data_values in data.items():
14         if data_name in validators:
15             l = validators[data_name]
16             s = data_values
17             encoded = list(map(l, s))
18             new_array[data_name] = encoded
19             logger.success('' + str(data_name) + '' + ' validated success!')
20     df = pd.DataFrame(new_array)
21     if need_train:
22         d = names_input() + names_output()
23     else:
24         d = names_input()
25     df.to_csv(os.getcwd() + '/output/validated/' + filename + '.csv', sep=";",
26              columns=d, encoding='utf-8-sig')

```

Рис. 5. Функция валидации start из модуля validator директории app [выполнено авторами].

Метод *validators* в модуле *_init_* возвращает список всех валидаторов, которые находятся в двух константах, представляющих собой массивы данных (рис. 8):

- 1) *_columns_inputs+_columns_outputs*;
- 2) *_validators_input+_validators_output*.

Эти массивы после обработки данных конкатенируются, и устанавливается соответствие между названием колонки и ее валидатором. Это значит, что очередность валидатора в константе – *validators_input* должна соответствовать очередности ее колонки.

Каждая колонка из списков колонок (*_columns_inputs*, *_columns_outputs*, *_validators_input*, *_validators_output*) описывается в директории *columns*, а обрабатывается в модуле *_init_* с использованием приведенных на рис. 4 методов. Для обеспечения этого в модуль *_init_* командой *from app.domain.columns* были импортированы модули и методы проверки данных:

1. День недели:
 - *week_day import validate as week_validator*;

- *week_day import COLUMN_NAME as WEEK_COLUMN_NAME*.

2. Время суток:

- *time import COLUMN_NAME as TIME_COLUMN_NAME*;
- *time import validate as time_validator*.

3. Интенсивность:

- *intensity import COLUMN_NAME as INTENSIVE_COLUMN_NAME*;
- *intensity import validate as intensive_validator*.

4. Температура воздуха:

- *t_air import COLUMN_NAME as T_AIR_COLUMN_NAME*;
- *t_air import validate as t_air_validator*.

5. Температура почвы:

- *t_soil import COLUMN_NAME as T_SOIL_COLUMN_NAME*;
- *t_soil import validate as t_soil_validator*.

6. Температура точки росы:

- *t_dew import COLUMN_NAME as T_DEW_COLUMN_NAME*;
- *t_dew import validate as t_dew_validator*.

7. Парциальное давление водяного пара (ps), Па:



```

226 # Колонки names_input которые использовать в анализе данных
227 5 usages  ↳ NSheshera
228 def names_input():
229     return _columns_inputs
230 2 usages  ↳ NSheshera
231 def names_output():
232     return _columns_outputs
233 # Получить список колонка-валидатор
234  ↳ NSheshera *
235 def validators():
236     return dict(zip(_columns_inputs+_columns_outputs,
237                    _validators_input+_validators_output))

```

Рис. 6. Метод names_input модуля _init_ [выполнено авторами].

```

128 # Колонки по порядку
129 _columns_inputs = [
130     WEEK_COLUMN_NAME, # День недели
131     TIME_COLUMN_NAME, # Время суток
132     T_AIR_COLUMN_NAME, # Температура воздуха
133     T_SOIL_COLUMN_NAME, # Температура почвы
134     T_DEW_COLUMN_NAME, # Температура точки росы
135     PRESSURE_COLUMN_NAME, # Парциальное давление водяного пара (рв), Па
136     F_PERCENT_COLUMN_NAME, # Относительная влажность воздуха (ф), %
137     VISIBILITY_CIPHER_COLUMN_NAME, # Видимость, шифр (VV), м
138     SATURATION_DEFICIT_COLUMN_NAME, # Дефицит насыщения (d), г/м³
139     P_LEVEL_STATION_COLUMN_NAME, # Атмосферное давление на уровне станции (Р-станция), г.Па
140     P_SEA_LEVEL_COLUMN_NAME, # Атмосферное давление на уровне моря (Р-море), г.Па
141     WEATHER_CODE_WW_COLUMN_NAME, # Погода, шифр (ww)
142     DIRECTION_WIND_COLUMN_NAME, # Направление ветра, градусы
143     WIND_SPEED_COLUMN_NAME, # Скорость ветра, м/с
144     PRECIPITATION_COLUMN_NAME, # Осадки, мм
145     DAYLIGHT_COLUMN_NAME, # Естественное освещение...
146 ]
147 _columns_outputs = [INTENSIVE_COLUMN_NAME]

```

Рис. 7. Список названий колонок входных и выходных параметров в модуле _init_ [выполнено авторами].

```

174 # Валидаторы по порядку
175 _validators_input = [
176     week_validator, # День недели
177     time_validator, # Время суток
178     t_air_validator, # Температура воздуха
179     t_soil_validator, # Температура почвы
180     t_dew_validator, # Температура точки росы
181     pressure_validator, # Парциальное давление водяного пара (рв), Па
182     f_percent_validator, # Относительная влажность воздуха (ф), %
183     visibility_cipher_validator, # Видимость, шифр (VV), м
184     saturation_deficit_validator, # Дефицит насыщения (d), г/м³
185     p_level_station_validator, # Атмосферное давление на уровне станции (Р-станция), г.Па
186     p_sea_level_validator, # Атмосферное давление на уровне моря (Р-море), г.Па
187     weather_code_ww_validator, # Погода, шифр (ww)
188     direction_wind_validator, # Направление ветра, градусы
189     wind_speed_validator, # Скорость ветра, м/с
190     precipitation_validator, # Осадки, мм
191     daylight_validator, # Естественное освещение...
192 ]
193 _validators_output = [intensive_validator]

```

Рис. 8. Список названий колонок входных и выходных параметров в модуле _init_ [выполнено авторами].

- pressure import COLUMN_NAME as PRESSURE_COLUMN_NAME;
- columns.pressure import validate as pressure_validator.
- 8. Относительная влажность воздуха (ф), %:
 - f_percent import COLUMN_NAME as F_PERCENT_COLUMN_NAME;
 - f_percent import validate as f_percent_validator.
- 9. Видимость, шифр (VV):
 - from app.domain.columns.visibility_cipher import COLUMN_NAME as VISIBILITY_CIPHER_COLUMN_NAME;
 - visibility_cipher import validate as visibility_cipher_validator.


```

1  import portion as P
2  from app.domain.helpers import types
3  COLUMN_NAME = 'humidity' # Относительная влажность воздуха (φ), %;
   NSheshera
4  def validate(value):
5      r1 = P.closed(-100, 110)
6      types.is_float(value, "FPercentValidator")
7      types.in_range(value, r1, "FPercentValidator")
8  return value

```

Рис. 9. Структура модуля контроля ошибок модуля *f_percent* [выполнено авторами].

10. Дефицит насыщения (d), г/м³:

```

– columns.saturation_deficit import
COLUMN_NAME as SATURATION_
DEFICIT_COLUMN_NAME;
– saturation_deficit import validate as
saturation_deficit_validator.

```

11. Атмосферное давление на уровне станции (P станции), г. Па:

```

– p_level_station import COLUMN_
NAME as P_LEVEL_STARION_COLUMN_
NAME;
– p_level_station import validate as p_
level_station_validator.

```

12. Атмосферное давление на уровне моря (P моря), г. Па:

```

– p_sea_level import COLUMN_NAME
as P_SEA_LEVEL_COLUMN_NAME;
– p_sea_level import validate as p_sea_
level_validator.

```

13. Погода, шифр (ww):

```

– weather_code_ww import COLUMN_
NAME as WEATHER_CODE_WW_
COLUMN_NAME;
– weather_code_ww import validate as
weather_code_ww_validator.

```

14. Направление ветра, градусы:

```

– direction_wind import COLUMN_
NAME as DIRECTION_WIND_COLUMN_
NAME;
– direction_wind import validate as
direction_wind_validator.

```

15. Скорость ветра, м/с:

```

– wind_speed import COLUMN_NAME
as WIND_SPEED_COLUMN_NAME;
– wind_speed import validate as wind_
speed_validator.

```

16. Осадки, мм:

```

– precipitation import COLUMN_NAME
as PRECIPITATION_COLUMN_NAME;
– precipitation import validate as
precipitation_validator.

```

17. Естественное освещение:

```

– daylight import COLUMN_NAME as
DAYLIGHT_COLUMN_NAME;
– daylight import validate as daylight_
validator.

```

На девятой строчке функция *start* модуля *validator* директории – *app/ domain/columns* читает файл *csv* (рис. 5). По строчке шаблона формируется путь к файлу (*os.getcwd() + '/output/r/'*).

Переменная *filename* – это название файла, оно передается аргументом в данную функцию, а *need_train* – это показатель того, что валидация идет на уровне тренировки модели или же на уровне прогнозирования (рис. 5). Дело в том, что валидация используется как на этапе тренировки модели, так и на этапе прогнозирования.

При помощи валидаторов в функции *start* модуля *validator* (рис. 5) формируются новые проверенные данные, которые записываются в директорию – */utput/validated*.

Структура самого модуля, отражающего информацию о колонке, на примере переменной «Относительная влажность воздуха» приведена на рис. 9.

На строчке 2 импортируется *helpers*, которая обозначает кастомные функции проекта для проверки типов значения колонки таблицы *csv*.

К константе *COLUMN_NAME* на четвертой строчке привязывается наименование заголовка колонки. В данном случае это – «*humidity*».

С пятой по восьмую строчки функция *validate* проверяет соответствие значений установленным требованиям, в противном случае программа информирует об ошибке. В конкретном примере (рис. 9) значения в колонке *humidity* (относительная влажность воздуха) не должны быть ниже 100 и выше





110. Другие значения будут считаться ошибкой.

Правила контроля данных на языке программирования Python колонок файла `csv` на этапе подготовки приведены ниже.

Естественное освещение, модуль `daylight`

```
import math
import app.domain.helpers.utils as f
COLUMN_NAME = 'daylight' #Естественное
освещение
def validate(value):
    if 0.5 < value < 1:
        value = float(f.toFixed(value, 2))
    types.in_range(value, [0, 0.5, 0.85, 1], «Daylight_
    Validator»)
    return value
```

Направление ветра, градусы, модуль `direction_wind`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'wind_direction' #Направление
ветра, градусы
def validate(value):
    r1 = P.closed(0, 360)
    types.is_float(value, «direction_windValidator»)
    types.in_range(value, r1, «direction_windValidator»)
    return value
```

Относительная влажность воздуха, модуль `f_percent`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'humidity' # Относительная
влажность воздуха (ф), %;
def validate(value):
    r1 = P.closed(-100, 110)
    types.is_float(value, «FPercentValidator»)
    types.in_range(value, r1, «FPercentValidator»)
    return value
```

Интенсивность транспортного потока, модуль `intensity`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'intensity' # Интенсивность
def validate(value):
    r1 = P.closed(0, float('inf'))
    types.is_int(value, «IntensityValidator»)
    types.in_range(value, r1, «IntensityValidator»)
    return value
```

Атмосферное давление на уровне станции, модуль `p_level_station`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'pressure_station'
# Атмосферное давление на уровне станции
(P станции), г. Па
def validate(value):
    r1 = P.closed(900, 1100)
    types.is_float(value, «p_level_stationValidator»)
    types.in_range(value, r1, «p_level_stationValidator»)
    return value
```

Атмосферное давление на уровне моря, модуль `p_sea_level`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'pressure_sea' # Атмосферное
давление на уровне моря (P моря), г. Па
def validate(value):
    r1 = P.closed(900, 1100)
    types.is_float(value, «p_sea_levelValidator»)
    types.in_range(value, r1, «p_sea_levelValidator»)
    return value
```

Осадки, модуль `precipitation`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'precipitation' # Осадки, мм
def validate(value):
    if math.isnan(value):
        value = float(0)
    r1 = P.closed(0, 100)
    types.is_float(value, «Precipitation_Validator»)
    types.in_range(value, r1, «Precipitation_Validator»)
    return value
```

Парциальное давление водяного пара, модуль `pressure`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'partial_pressure' # Парциальное
давление водяного пара (ps), Па
def validate(value):
    r1 = P.closed(0, float('inf'))
    types.is_float(value, «PressureValidator»)
    types.in_range(value, r1, «PressureValidator»)
    return value
```

Дефицит насыщения, модуль `saturation_deficit`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'saturation_deficit' # Дефицит
насыщения (d), г/м³
def validate(value):
    r1 = P.closed(0, 40)
    types.is_float(value, «SaturationValidator»)
    types.in_range(value, r1, «SaturationValidator»)
    return value
```

Температура воздуха (t воздуха), модуль `t_air`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_air' #Температура воздуха
(t воздуха), C°
def validate(value):
    r1 = P.closed(-100, 100)
    types.is_float(value, «TAirValidator»)
    types.in_range(value, r1, «TAirValidator»)
    return value
```

Температура точки росы (DP), модуль `t_dew`

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_dew_point' # Температура точки
```

```
росы (DP), C°
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 100)
types.is_float(value, «TDewValidator»)
types.in_range(value, r1, «TDewValidator»)
return value
```

Температура почвы (t почвы), модуль t_soil

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_soil' # Температура почвы
(t почвы), C°
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 100)
types.is_float(value, «TSoilValidator»)
types.in_range(value, r1, «TSoilValidator»)
return value
```

Время суток, модуль time

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'day_time' # Время суток
def validate(value):
r1 = P.closed(0, 23)
types.is_int(value, «TimeValidator»)
types.in_range(value, r1, «TimeValidator»)
return value
```

Видимость, шифр (VV), модуль visibility_cipher

```
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'visibility_VV' # Видимость, шифр
(VV);
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = 0
types.is_int(int(value), «VisibilityValidator»)
types.in_range(value, [90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98,
99, 0], «VisibilityValidator»)
return value
```

Погода, шифр (ww), модуль weather_code_ww

```
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'weather_WW' # Погода, шифр
(ww)
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = 0
types.is_int(int(value), «Weather_code_ww_Validator»)
types.in_range(value, [0, 1, 2, 3, ... 99], «Weather_code_
ww_Validator»)
return value
```

День недели, модуль week_day

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'week_day' # День недели
def validate(value):
r1 = P.closed(1, 7)
types.is_int(value, «WeekValidator»)
types.in_range(value, r1, «WeekValidator»)
return value
```

Скорость ветра, модуль wind_speed

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'wind_speed' # Скорость ветра, м/с
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = float(0)
r1 = P.closed(0, 40)
types.is_float(value, «Wind_speedValidator»)
types.in_range(value, r1, «Wind_speedValidator»)
return value
```

Очистка от выбросов методом изолированного леса

Забегая вперед, нужно обозначить, что решение об очистке данных от выбросов было следствием малой точности прогноза тестовых данных (табл. 1).

Test loss и test acc являются метриками, используемыми для оценки производительности модели машинного обучения на тестовых данных.

Test loss (тестовая ошибка) – это мера ошибки или разницы между предсказанными значениями и фактическими значениями на тестовых данных. Test loss обычно вычисляется с использованием некоторой функции потерь (например, Mean Squared Error или Cross-Entropy Loss) и показывает, насколько хорошо модель справляется с предсказанием правильных значений на тестовых данных. Чем меньше значение test loss, тем лучше производительность модели.

Test accuracy (точность на тестовых данных) – это процент правильных предсказаний модели на тестовых данных. Он показывает, насколько хорошо модель классифицирует правильные классы на тестовых данных. Test accuracy вычисляется путем сравнения предсказанных значений с фактическими метками классов и вычисления доли правильных ответов. Чем выше значение test accuracy, тем лучше производительность модели.

Обе метрики, test loss и test accuracy, используются для оценки производительности модели на данных, которые не использовались при обучении. Они позволяют проверить, насколько хорошо модель обобщает знания и способна предсказывать правильные значения на новых данных.

Проверке на аномалии подвергались все факторы, но только интенсивность транспортного потока показала значительное загрязнение данных случайными выбросами. Это



Таблица 1

Фрагмент данных оценки моделей методами *test loss* и *test acc* до и после исключения аномалий из показателя интенсивности транспортного потока [составлено авторами]

Рубеж	С аномалиями		Без аномалий	
	test loss	test acc	test loss	test acc
1011	0.21	0.44	0.36	0.69
1021	0.26	0.38	0.30	0.67
1031	0.25	0.31	0.62	0.52
111	0.52	0.26	0.89	0.43
1111	0.42	0.24	0.74	0.20
1121	0.25	0.35	0.33	0.65
1131	0.23	0.40	0.32	0.62
1141	0.25	0.47	0.40	0.60

следствие ДТП, обслуживания дорог или прилегающих сооружений с временным ограничением движения, поломка фиксирующего устройства и т.п.

Для поиска аномалий лучше всего подошел метод «изолированного леса», так как показатель интенсивности транспортного потока не имеет ярко выраженного нормального распределения.

«Изолированный лес» (Isolation Forest) – это алгоритм машинного обучения для обнаружения аномалий в данных. В отличие от других алгоритмов, таких как метод кластеризации или плотность, изолированный лес использует деревья решений для поиска аномалий.

Основная идея изолированного леса заключается в том, что аномалии в данных обычно имеют меньшее число связей и более короткие расстояния до остальных объектов. Алгоритм строит несколько деревьев решений, случайным образом выбирая признаки и разделяя данные на каждом шагу. Затем он оценивает, как быстро аномалия может быть изолирована в этих деревьях.

При обучении изолированного леса:

1. Задается максимальная глубина дерева и максимальное количество разбиений.
2. Данные разбиваются на случайные подвыборки, и для каждой подвыборки строится дерево решений.
3. Каждое дерево решений разделяет данные на две части, выбирая случайный признак и случайное разделение.
4. Повторяются шаги 2–3 до достижения максимальной глубины или количества разбиений.
5. По окончании обучения и для нового объекта используется валидационная оценка для определения аномальности.

При использовании изолированного леса для обнаружения аномалий:

1. Вычисляется «путь» в дереве для каждого объекта, представляющий количество разбиений, необходимых для изоляции объекта.
2. Вычисляется средняя длина пути для всех объектов, которая используется для определения аномалий. Объекты с более короткими путями обычно считаются более аномальными.

Преимущества использования изолированного леса:

1. Хорошо масштабируется для обработки больших объемов данных.
2. Мощный и эффективный в обнаружении аномалий.
3. Не требует предварительной подготовки данных, так как нечувствителен к выбросам и мультиколлинеарности.

Существующий способ реализации метода случайного леса на языке программирования Python требует определенные версии специальных библиотек самой программы, которые не совместимы с данным проектом, поэтому в среде разработки PyCharm было создано дополнительное виртуальное окружение с ключевым модулем *clean_start* (рис. 10).

При запуске модуля *clean_start* на третьей строчке импортируется метод изолированного леса библиотеки *sklearn* надстройки *ensemble*. Запускается циклическая функция для каждого рубежа из директории */output/validated* и обрабатывается функция *cleaner* (рис. 10), где:

- на шестой строчке загружаются данные;
- на седьмой строчке удаляется первая индексная колонка;
- на десятой строчке формируется модель и задаются параметры;


```

1 import os
2 import pandas as pd
3 from sklearn.ensemble import IsolationForest
4 """Функция очистки"""
5 def cleaner(filename):
6     data_frame = pd.read_csv(os.path.join('..', 'output/validated') + filename + '.csv', delimiter=';', encoding='utf-8')
7     data_frame['anomaly_intensity'] = data_frame['anomaly_intensity'].astype(int)
8     # data_frame.info()
9     """Обучение модели"""
10    model = IsolationForest(n_estimators=50, max_samples='auto', random_state=42, min_samples_leaf=10)
11    model.fit(data_frame[['intensity']])
12    data_frame['scores_intensity'] = model.decision_function(data_frame[['intensity']])
13    data_frame['anomaly_intensity'] = model.predict(data_frame[['intensity']])
14    return data_frame
15
16 for file in os.listdir(os.path.join('..', 'output/validated')):
17     split = os.path.splitext(file)
18     filename = split[0]
19     print(filename)
20     data_frame = cleaner(filename)
21     data_frame.to_csv(os.path.join('..', 'output/validated') + filename + '.csv', delimiter=';', encoding='utf-8')

```

Рис. 10. Очистка данных интенсивности транспортного потока методом изолированного леса [выполнено авторами].

– на одиннадцатой строчке в модель передаются данные об интенсивности транспортного потока;

– на двенадцатой-тринадцатой строках определяются и помечаются аномалии. Создаются дополнительные две колонки. Одна отражает баллы значений (*scores_intensity*), вторая (*anomaly_intensity*) помечает в соответствии с баллами все аномальные значения цифрой «-1», а нормальные «1».

В конце каждого цикла преобразованные данные снова записываются в директорию */output/validated*.

Для исключения аномалий перед обучением была произведена сортировка данных по значению «1» столбца *anomaly_intensity*, командой *data_frame = data_frame.loc[data_frame['anomaly_intensity'] == 1]*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительное преобразование данных с целью их подготовки к обработке методами машинного обучения является важным компонентом достижения точности полученных результатов, объективного сравнения признаков и определения зависимостей.

Использование информационно-аналитических ресурсов больших городов становится перспективным для анализа интенсивности транспортного потока. С этой целью использовались алгоритмические инструменты, основанные на полученных теоретических результатах и программных прототипах их основных компонентов, методов и алгоритмов предиктивной аналитики языка программирования Python, среды разработки PyCharm.

Дальнейшая реализация результатов исследования направлена на построение нейронной сети глубокого обучения, обуче-

ния модели и прогнозирование, поэтому, предварительная обработка является важным компонентом логики программы, позволяет улучшить качество данных, упростить модель и сделать обучение более эффективным.

Из-за высокой динамичности интенсивности транспортного потока и большого количества нестабильных параметров, оказывающих на него влияние, наблюдаются непрогнозируемые (аномальные) значения, в число которых входят ДТП, строительные работы, сбои фиксирующей аппаратуры и т. п. Для их исключения, после предварительной обработки данных применен метод изолированного леса (Isolation Forest).

Изолированный лес использовался для поиска аномалий путем построения ансамбля изолированных деревьев, в каждом из которых случайным образом выбираются разбиения по случайным признакам и точки данных для построения дерева. Затем аномалии исключаются путем уменьшения высоты аномальных точек в дереве.

Данная работа стала платформой для обучения моделей зависимости интенсивности транспортного потока от погодноклиматических характеристик и факторов УДС методом глубокого обучения. В табл. 1 продемонстрировано качество модели нейронной сети до и после обработки данных, в том числе методом изолированного леса. Результаты исследований апробированы и с научной точки зрения взвешены, свидетельствуют о повышении качества прогнозистической модели на тестовых данных.

Работа актуальна с теоретической и практической точек зрения и уже имеет примеры применения, которые будут опубликованы в следующих трудах.





СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с. ISBN 5-277-01402-0.
2. Pavlyuk, D. Robust and Responsive Learning of Spatiotemporal Urban Traffic Flow Relationships. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2022, Vol. 23, Iss. 9, pp. 14524–14541. DOI: 10.1109/TITS.2021.3130146.
3. Oktarina, Yu., Sastiani, D. Z., Dewi, T. Simulation Design of Artificial Intelligence Controlled Goods Transport Robot. *Computer Engineering and Applications Journal*, 2022, Vol. 11, Iss. 2, pp. 155–165. DOI: 10.18495/COMENGAPP.V11I2.411.
4. Пугачев И. Н., Щеголов В. И. Реализация программ комплексного развития транспортных инфраструктур агломераций и соседствующих субъектов Российской Федерации на основе создания информационной системы // *Транспорт и сервис*. – 2021. – № 9. – С. 7–16. EDN: AMDQXT.
5. Lugbade, S., Ojo, S., Imoize, A. L., Isabona, J., Alaba, M. O. A Review of Artificial Intelligence and Machine Learning for Incident Detectors in Road Transport Systems. *Mathematical and Computational Applications*, 2022, Vol. 27, Iss. 5, 77. DOI: 10.3390/mca27050077.
6. Москвитин В. М., Семенова Н. И. Влияние шума на рекуррентные нейронные сети с нелинейными нейронами // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. – 2023. – Т. 31. – № 4. – С. 484–500. DOI: <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003052>.
7. Пугачев И. Н., Тормозов В. С. Разработка нового метода детектирования и классификация транспортных средств по спутниковым изображениям // *Дороги и мосты*. – 2023. – Вып. 49–1. – С. 199–221. [Электронный ресурс]: <https://rosdornii.ru/upload/iblock/de5/4m83hrrtm29ndyiknu9vg4rse3q7me/11.-Pugachev-Razrabotka-novogo-metoda.pdf>. Доступ 29.12.2023.
8. Пугачев И. Н., Скрипко П. Б., Шешера Н. Г. Программный подход к комплексному сбору и подготовки данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. – 2023. – Т. 17. – № 10. – С. 43–51. DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-10-43-51.
9. Kopp, T., Weitemeyer, R., Beyer, J., Ziegler, D., Hess, R. Entscheidungsunterstützung in Leitstellen des Personennahverkehrs – Technische und sozio-technische Herausforderungen [Artificial Intelligence for Decision Support in Local Public Transport Control Centers – Technical and Socio-technical Challenges]. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 2023, Vol. 60, Iss. 6, pp. 1156–1173. DOI: <https://doi.org/10.1365/s40702-023-00996-8>.
10. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г. Применение методов статистического анализа для оценки параметров транспортных потоков и характеристик улично-дорожной сети // *Дальневосточный юрид. ин-т МВД России*. – Хабаровск: РИО ДВЮИ МВД России, 2020. – 108 с. ISBN 978-5-9753-0313-4.
11. Черных В. С., Жихарев А. Г., Федосеев А. Д., Мартон Н. А. Сравнение эффективности различных методов обучения нейронных сетей // *Научный результат Информационные технологии*. – 2023. – Т. 8. – № 1. – С. 83–93. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-8-1-0-8.
12. Михалев О. Н., Янюшкин А. С. Автоматизация технологических процессов на основе нейронной сети. Автоматизация. Современные технологии. – 2022. – Т. 76. – № 4. – С. 147–152. EDN: DIEMHO.
13. Nguyen, H. T., Nguyen, L. T., Afanasiev, A. D., Pham, L. T. Classification of Road Pavement Defects Based on Convolution Neural Network in Keras. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2022, Vol. 56, Iss. 1, pp. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411622010084>.
14. Сокерин Д. Д. Введение в искусственные нейронные сети // *Информация и образование: границы коммуникаций*. – 2023. – № 15 (23). – С. 284–286. EDN: WKHNMZ.
15. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Щеголов В. И. Анализ геометрических элементов дорог с помощью современных геоинформационных систем при оценке их аварийности // *Вестник гражданских инженеров*. – 2021. – № 3 (86). – С. 127–133. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-127-133.
16. Аррыкова Г. К., Эзизова С. Э., Гараев Г. Б., Ходжакаева Д. М. Искусственный интеллект и нейронные сети: современные технологии в решении ключевых проблем. *Ceteris Paribus*, 2023, Iss. 12, pp. 16–18. [Электронный ресурс]: <https://sciartel.ru/arhiv-journal/CP-2023-12.pdf?ysclid=m06mw02bpt288436451> [полный текст выпуска]. Доступ 29.12.2023.
17. Шашев Д. В., Шатравин В. В. Реализация сигмоидной функции активации с помощью концепции перестраиваемых вычислительных сред // *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. – 2022. – № 61. – С. 117–127. EDN: PDIJZM.
18. Дулесов А. С., Байшев А. В., Карандеев Д. Ю., Дулесова Н. В., Карандеева И. Ю. Предварительная обработка статистических данных о состоянии однородных технических объектов // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2023. – № 4. – С. 80–83. EDN: EFIDGU.
19. Резова Н. Л., Казьковцев Л. А., Шкаберина Г. Ш., Цепкова М. И. Предварительная обработка данных для анализа поведения сложных систем // *Системы управления и информационные технологии*. – 2022. – № 2 (88). – С. 40–45. EDN: BYGESB.
20. Акимов А. А., Валитов Д. Р., Кубряк А. И. Предварительная обработка данных для машинного обучения // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2022. – № 2. – С. 26–31. EDN: GWGJSK.
21. Безменов И. В. Метод очистки измерительных данных от выбросов: поиск оптимального решения с минимальным количеством отбракованных результатов измерений // *Измерительная техника*. – 2023. – № 1. – С. 16–23. EDN: KISWIN.

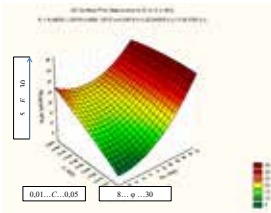
Информация об авторах:

Пугачев Игорь Николаевич – доктор технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия, irugachev64@mail.ru.

Шешера Николай Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационного и технического обеспечения ОВД, Дальневосточный юридический институт МВД России, Хабаровск, Россия, kolyaka239@mail.ru.

Григоров Денис Евгеньевич – начальник кабинета специальных дисциплин кафедры информационного и технического обеспечения ОВД, Дальневосточный юридический институт МВД России, Хабаровск, Россия, glowfisch8lan@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 29.12.2023, одобрена после рецензирования 24.04.2024, принята к публикации 15.05.2024.



ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

26

Технологическое регулирование и мониторинг сооружения земляного полотна в Арктике.



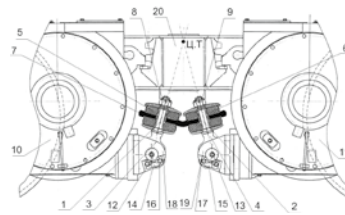
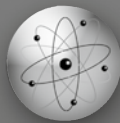
АВТОДОРОГИ

34, 40

Образование колеи в асфальтобетонном покрытии и свойства вяжущих материалов. Эксперименты, расчеты, выводы.

Мониторинг состояния дорожного полотна. Сравнение современных методов. Использование искусственного интеллекта.

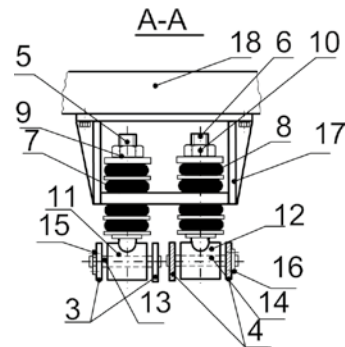
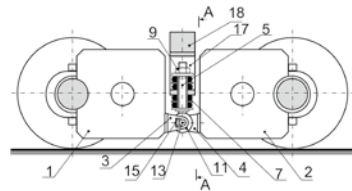
НАУКА И ТЕХНИКА

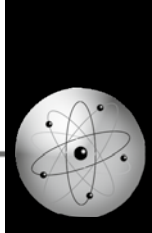


ЛОКОМОТИВЫ

47

Тяговые и сцепные свойства современных локомотивов: зависимости от компоновки экипажной части. Подробный анализ проблемы и возможных решений.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.139.6

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-3>

Технологическое регулирование и мониторинг сооружения земляного полотна в Арктике



Таисия ШЕПИТЬКО



Святослав ЛУЦКИЙ



Игорь АРТЮШЕНКО

Таисия Васильевна Шепитько¹, Святослав Яковлевич Луцкий², Игорь Александрович Артюшенко³

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

¹ORCID 0000-0002-4785-1625; Scopus Author ID 57200189585; SPIN-код: 6980-7287.

²SPIN-код: 2475-5149.

³ORCID 0000-0002-7749-9626; Web of Science Researcher ID: AAT-5175-2020; Scopus Author ID: 57214076962; SPIN-код: 5178-3827.

✉ ³tywka351@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Изложена технология повышения несущей способности основания дорожного земляного полотна на высокотемпературных многолетнемерзлых грунтах в Арктической зоне. Целью исследования является разработка технологических режимов упрочнения слабого основания насыпей, допускающих регулирование нагрузок при строительстве объектов на многолетнемерзлых грунтах. В качестве методов исследования в статье использовались методы организации строительства в криолитозоне, метод системного анализа и системного подхода. Методика заключается в поэтапном моделировании и расчете параметров геотехнического мониторинга состояния земляного полотна для определения максимально допустимых технологических нагрузок.

Определены задачи и функции системы регулирования и мониторинга технологических операций для направленного повышения прочностных характеристик слабых оснований в строительный период. Установлены основные

факторы, влияющие на функционирование нового природно-технического комплекса в период строительства на мерзлоте, а именно изменение температурного поля, нагрузок строительных машин и физико-механических характеристик грунтов. Показана целесообразность организации комплексных оценок и взаимного контроля деформативности грунтов средствами геотехнического мониторинга и АСУ ТП машин и строительного оборудования. Технологический режим глубинного упрочнения слабого основания геотехнических объектов должен включать регулирование параметров строительных нагрузок и контроль качества процессов при виброуплотнении верхней зоны и устройстве свайного поля. Изложены особенности опытного применения комплексной технологии для обеспечения проектной несущей способности грунтов при реконструкции и строительстве участков Северного широтного хода и железной дороги Обская – Бованенково.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, земляное полотно, регулирование, мониторинг, несущая способность, стабильность, технология.

Благодарности: исследование проведено в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в форме субсидии на выполнение крупного научного проекта по приоритетному направлению научно-технологического развития, соглашение № 075–15–2024–559 от 24.04.2024 года.

Для цитирования: Шепитько Т. В., Луцкий С. Я., Артюшенко И. А. Технологическое регулирование и мониторинг сооружения земляного полотна в Арктике // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 26-33. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-3>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article translated into English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность строительства и реконструкции путей сообщения в криолитозоне соответствует Стратегии развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года¹ и основным направлениям социально-экономического развития Арктики. Авторы данной статьи изложили в работе [1] особенности реализации Стратегии.

Постройка геотехнических сооружений транспортной инфраструктуры, особенно земляного полотна, на вечной мерзлоте связана с риском их деформаций и потери прочности не только в эксплуатационный, но и в строительный период. Опыт технологических расчетов и подготовки материалов (регламентов, карт и проектов производства работ) для рабочей документации строительства участков линий Томмот – Якутск, Бованенково – Карская показал необходимость учитывать риски состояния не полностью завершенных основных и защитных сооружений. Уже в подготовительный период нарушается мохо-дерновой покров, изменяются стоки поверхностных вод, а в основной период при распределении и перемещении земляных масс в корне меняется литология массивов. Эта строительная специфика не в полной мере учтена в нормативах и фундаментальных трудах ученых по механике грунтов и земляному полотну [2–4]. Вместе с тем, в Техническом регламенте² указано на необходимость обеспечить прочность и безопасность зданий и сооружений на проектной, строительной и эксплуатационной стадиях. Важность управления состоянием объектов в течение всего жизненного цикла отмечена в трудах [5; 6] и доказана практикой строительства [1]. При реконструкции земляного полотна следует дополнительно учитывать существенную неоднородность производственной программы и опасность деградации полосы отвода³.

¹ Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>. Доступ 15.12.2023.

² Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон № 384-ФЗ. [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720. Доступ 12.09.2023.

³ Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях / МИИТ. – М.: Тимр, 2005. – 96 с.

Опыт технологического проектирования развития транспортных коммуникаций Якутии, Ямала и Приполярной зоны Арктики [7; 8] показал наибольшую сложность строительства путей сообщения в районах распространения высокотемпературных многолетне-мерзлых грунтов (ММГ).

Цель технологического исследования – разработка методов возведения земляного полотна на высокотемпературных многолетне-мерзлых грунтах, обеспечивающих безопасность и надежность конструкции за счет регулирования и мониторинга строительных нагрузок и воздействий.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика технологического регулирования строительства

Условием безопасного строительства является его геотехнический мониторинг (ГТМ), который по нормам^{4,5} включает контроль температурно-влажностных параметров в теле и основании незавершенного строительством сооружения.

Основные положения соответствующей методики изложены авторами в [9]. Для стабильности грунтов основания и устойчивости конструкции на всех этапах эволюции объекта необходимо применять технологический режим систематического регулирования строительных и эксплуатационных нагрузок [10], который предусмотрен комплексной технологией (КТ), запатентованной и реализованной на северных стройках [11]. Ее содержание заключается в организации геотехнических исследований текущего состояния слабых грунтов и реализации наибольших, допустимых по безопасности, вибрационных и ударных нагрузок от уплотняющих машин. Состав КТ (рис. 1) включает подготовку производства, основной период строительства и структурные блоки. Взаимодействие блоков и организацию управления производством выполняет Центр технологического регулирования (Центр ТР). Основная функция ГТМ (в этом принципиальная разница с мониторингом эксплуатируемых объектов) состоит в информационном сопровождении и корректировке параметров производства.

⁴ СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. – М., 2020. – 123 с.

⁵ СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. – М.: Стандартинформ, 2017. – 61 с.





Рис. 1. Структура технологического регулирования и мониторинга строительства геотехнических объектов [разработано авторами].

Для эффективного уплотнения грунтов принято требование [4; 12] о необходимости нагрузок на пределе прочности грунтов. Допустимая технологическая нагрузка на слабые грунты должна соответствовать условию:

$$K_n(F_{\sigma} - F_n)t / F_{mt} \geq K_{cm}, \quad (1)$$

где K_n, K_{cm} – соответственно, проектные коэффициенты надежности и стабильности земляного полотна в t -м технологическом цикле;

F_{σ}, F_m – соответственно, безопасная для слабых грунтов и технологическая нагрузки;

F_n – поровое давление.

Нагрузку F_{σ} определяют в зависимости от структуры и прочностных характеристик слабого слоя по правилам^{4,6}. В режиме виброуплотнения грунтов следует учитывать безопасный предел:

$$F_{mt}(P_k, A, V, v) < \min[F_{np}, F_{\sigma}, F_{mc}]t, \quad (2)$$

где F_{mt} – нагрузка, зависящая от контактной жесткости слоя грунта и параметров вибровальца – веса P_k , амплитуды A , скорости движения V , частоты v ;

F_{np} – предел прочности грунтов;

F_{mc} – тиксотропный предел нагрузки в t -й период производства работ (рабочую смену).

В этих условиях следует рассчитывать

риск нарушения стабильности основания строительными машинами, при котором технологическое воздействие превышает безопасную для грунтов нагрузку (с учетом порового давления) [13]. Предельное состояние определяется вероятностью P_i того, что величина F_{σ} будет меньше технологической нагрузки от машин F_m и построенной части объекта F_c :

$$P_i = p[F_{\sigma} - (F_m + F_c) / K_n]t < 0. \quad (3)$$

Таким образом, в ходе строительных работ Центр ТР выполняет непрерывную диагностику возводимого земляного полотна для профилактики его предельного состояния, особенно на участках индивидуального проектирования (косогорах, карстах и др.)

Подготовительный период КТ включает стадии устройства дренажной системы, рабочей платформы для тяжелой строительной техники и организации геотехнического мониторинга. Дренажные прорезы обеспечивают снижение влажности за счет отжатия воды виброкатком из деятельного слоя осенью в начале промерзания и миграционного влагонакопления [14]. Устройство рабочей платформы – путей для перемещения тяжелой строительной техники выполняют в интенсивном режиме уплотнения. На этой стадии

⁶ СП 447.1325800.2019. Железные дороги в районах вечной мерзлоты. - М.: Стандартинформ, 2019. – 40 с.

формируются требования к ГТМ по определению температурно-влажностных характеристик грунтов, контролю объема миграции воды, суммарной влажности и стабильности деятельного слоя.

Для регистрации текущих изменений теплообмена в массивах возводимого объекта и природной среды по нормам^{5, 6} следует выполнить работы по устройству стационарных пунктов мониторинга и сетей контроля температурного режима и деформаций каждого слоя. Регулярные опросы сетей особенно важны для оценки работы дренажной системы и стабилизации грунтов оснований.

В ходе подготовки производства Центр ТР должен иметь постоянную информацию о состоянии инженерных сооружений. Если стабильность по нормам⁴ не обеспечена, следует применить организационно-технологические решения:

1) интенсивную технологию виброуплотнения основания в комплексе с дренажной системой прорезей и водоотводов;

2) замену слабого грунта песком, посадку песчаного массива на минеральное дно;

3) устройство свайного поля.

Выбор варианта упрочнения включает моделирование, расчет технологических параметров, прогноз осадок, прочностных характеристик грунтов, сроков и стоимости производства работ. При определении осадок в строительный период нужно учитывать анизотропность, структуру грунтовых напластований, реологические свойства грунтов, возможность их ухудшения при нестабилизированном состоянии в ходе работ и календарный график производства. Деформативность основания земляных сооружений прогнозируют с учетом принципа динамического равновесия между количеством незамерзшей воды и льдистости при изменении температуры и давления [4; 6].

Практическая реализация

Анализ результатов исследования и опытной проверки КТ и ГТМ содержится в работе авторов [1], в которой отмечено, что «разработана комплексная технология сооружения земляного полотна на высокотемпературных ММГ, основанная на регулировании строительных нагрузок и мониторинге механических и теплофизических процессов в режиме реального времени».

Взаимосвязь блоков технологического

регулирования и ГТМ в наибольшей степени проявляется в основной период упрочнения слабых оснований. При удалении слабых грунтов с заменой песчаным массивом выполняют уплотнение грунтов виброкатками, ударно-импульсной или буровзрывной технологией. По требованиям⁴ основные строительные работы должны сопровождаться мониторингом и регулированием технологической нагрузки с учетом прогноза состояния каждого слоя в процессе производства работ [10].

Для выполнения этой сложной задачи на многокилометровом участке трассы с переменными грунтовыми условиями работы мехколонны используют весь предусмотренный нормами⁵ арсенал ГТМ (геодезический, параметрический мониторинг, геофизические исследования) и возможности контрольно-оповестительной системы [5; 15]. Характеристики грунтов основания проверяют контрольным бурением по глубине замененного массива грунта с определением наличия линз – остатков слабых переувлажненных грунтов и торфов. Именно на этих участках повышенная влажность приводит к снижению прочностных характеристик модуля деформации (рис. 2) и, как следствие, к риску ползучести и выдавливания грунтов из подоткосной части насыпи. Это явление подтверждает регрессионная зависимость, полученная по результатам статистического анализа данных изысканий на опытном участке проектирования линии Обская – Салехард [8]:

$$E = 6,46 + 690,19X + 0,07Y^2 - 1,06Y - 20,66XY - 1738,54X^2, \quad (4)$$

где X – сцепление C , МПа;

Y – угол внутреннего трения φ , град;

E – модуль деформации, МПа.

Данная зависимость ($R = 0,86$; $F = 27,9$; $p = 0$; $N = 48$) показывает взаимодействие деформационных и прочностных характеристик слабых грунтов. Применение технологии устройства дренажной системы и режима виброуплотнения для подготовки рабочей платформы увеличивает значения характеристика C и φ , соответственно, повышается модуль E .

Технологический режим должен учитывать динамику порового давления в недренированном (неконсолидированном) состоянии грунтового массива на основе численного моделирования и оценки напряженно-деформированного состояния грунтового мас-



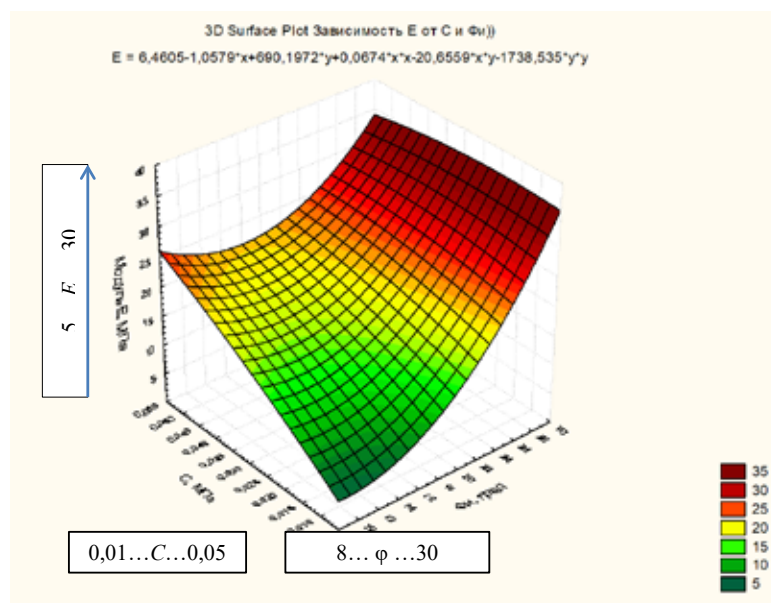


Рис. 2. Взаимосвязь изменения модуля деформации E , МПа, сцепления C , МПа и угла внутреннего трения φ , град. талых связных грунтов [разработано авторами].

сива. Если осадка ускорилась, строительную нагрузку следует откорректировать, уплотнение прекратить, провести дополнительно инженерно-гидрологические изыскания.

Опытное применение КТ на основаниях с глубоким (больше активной зоны) размещением просадочных грунтов по варианту их вырезки с заменой песком показало необходимость индивидуальных решений, приведенных в [13]. Для эффективного виброуплотнения песка предложено регулировать режим работ виброкатка. При уплотнении песчаного массива ударно-импульсным способом [13] определены регулируемые параметры: размещение позиций машины УИМ, импульс удара, число ударов на каждой позиции. Особенность регулирования заключается в систематическом диагнозе основания на каждой позиции и между позициями машины и расчете параметров ударного (динамического) воздействия в зависимости от состояния массива песка. Опыт строительства автомагистрали на слабых грунтах [11; 13] показал эффективность сопровождения работ комплексными геофизическими исследованиями, включающими: электроразведку; сейсморазведку; мобильное георадиолокационное профилирование; гидрогеологические обследования с режимными скважинами. Комплексный ГТМ позволяет контролировать замену слабых заторфованных грунтов, поровое давление и плотность

песчаного массива.

Наиболее сложные условия реализации КТ были установлены при разработке СТУ завершения строительства (усиления) железнодорожной линии Надым – Пангоды [17]. По материалам инженерных изысканий на трассе распространены островная вечная мерзлота, переувлажненные мелкие пылеватые пески и суглинки текучепластичной консистенции, которые относятся к слабым пучинистым грунтам с низкой несущей способностью. Для реконструкции земляного полотна запроектированы принципиально разные поперечные профили: а) пристройка с уступами к насыпи действующего пути; б) надстройка насыпей над действующим путем; в) новые сооружения. Наибольшие деформации происходят под технологическими нагрузками при производстве работ в подоткосной части существующих дорожных насыпей с увеличением оттаивающего слоя пластично-мерзлых грунтов. Возрастают риски опасного сочетания нагрузок и предельного состояния незавершенного объекта, которые связаны с переменными условиями многокилометрового фронта работ, разными конструкциями сооружений, неоднородностью состава грунтов по продольным и поперечным профилям насыпей и выемок. В этих условиях следует рассчитывать риск нарушения стабильности основания строительными машинами, при котором технологическое

воздействие превышает безопасную для грунтов нагрузку.

Расчетные параметры должны определяться с учетом переменных по трассе и в ходе работ условий производства – неоднородности характеристик геологии, литологии, уклонов местности. Оценку изменений состояния полосы отвода при сооружении земляного полотна выполняют стационарные пункты мониторинга и Центр ТР с использованием данных цифровой аэросъемки и наземного лазерного сканирования.

Для повышения оперативности ГТМ в [1] приведены рекомендации о целесообразности организовать постоянную передачу цифровой информации о состоянии грунтов в каждом слое основания по результатам геофизических исследований в Центр ТР, блок автоматизированных устройств регулирования режимов строительной техники. Интенсивные нагрузки машин способны привести к активизации опасных природных явлений. Например, оползневый и карстово-суффозионный процессы чувствительны к изменению (перемещению) состояния грунтовых массивов. К потере устойчивости насыпей могут привести перемещение земляных масс на профиле дороги, перераспределение грунтовых и поверхностных вод, переменные нагрузки землеройно-транспортных комплексов.

Учет такого взаимодействия соответствует современным тенденциям совершенствования механизации работ с применением системы дистанционного программного или автоматического управления технологическими процессами (АСУ ТП) [18]. Системы лазерного сканирования учитывают отметки продольного и поперечного профиля сооружения, которые изменяются при работе машин в любой точке строительной площадки. Операционная задача заключается в организации взаимодействия геотехнического мониторинга и АСУ машин для направленного и безопасного повышения несущей способности оснований⁷.

Рост вибронагрузки катка в деятельном слое приводит к увеличению влажности и, как следствие, к снижению модуля дефор-

мации грунтов. Операционный контроль должен предусматривать синхронную оценку соответствия текущих значений безопасной нагрузки и регулируемых режимов – изменения амплитуды и частоты колебаний вибровальца. Данные геотехнического мониторинга являются исходными для современных виброкатков [19]. Бортовой компьютер машины позволяет устанавливать параметры вибрации и скорость движения катка в зависимости от степени уплотнения грунта. После регистрации и преобразования сигналов о выполнении условия (1) появляется возможность повысить или же при опасном сигнале – немедленно снизить вибронагрузку до максимально допустимой величины и перейти на осцилляцию. Например, АСУ Variocontrol катка Bomag обеспечивает бесступенчатое повышение амплитуды и настройку частоты для изменения возмущающей силы до максимального значения. Одновременно бортовой ПК определяет динамический модуль деформации грунта через соотношение контактной зоны, динамического давления вальца и предела прочности грунта на сжатие. Текущее значение машинного модуля деформации следует сравнить с расчетными деформационными характеристиками уплотняемого слоя, полученными от ГТМ и грунтовых лабораторий. Эти данные передаются в Центр ТР для диагностики и прогноза состояния объекта. Систематическое регулирование вибронагрузки и контроль плотности грунтов позволяют повысить прочность и выполнить проектные требования к основанию на конкретном участке возведения насыпи.

На участках глубинного упрочнения слабого основания следует организовать контроль качества процессов виброуплотнения верхней зоны для рабочей платформы и устройства свайного поля в виде буронабивных, геотекстильных или щебеночных свай-столбов (в зависимости от проектного решения) с гибким ростверком. Для этой цели применяют моделирование и расчет несущей способности свай в ПК Midas GTS NX [15; 17].

При устройстве свай по данным инженерных изысканий учитывают геологическую структуру, уровень грунтовых вод и характеристики грунтов. Современные вибропогружатели и буровые машины (например, фирмы Liebherr) обеспечивают качество работ с по-

⁷ Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>. Доступ 15.12.2023.



мощью бортовой АСУ ТП для контроля и регулирования скорости бурения, глубины и вертикальности погружения шнека в грунт, давления бетонной смеси. Программный комплекс машины позволяет получить паспорт сваи с ее профилем на геологическом разрезе и объемом материала, уложенного в скважину. В ходе свайных работ контрольные функции ГТМ направлены на уточнение информации о расчетных значениях сопротивления грунтов по боковой поверхности свай. Испытания свай и межсвайной зоны следует включить в комплекс работ по завершению технологического цикла подготовки основания.

Устройство свай методами виброугружения и забивки позволяет повысить плотность основания

$$\rho_{dt} = \frac{\rho_{do}}{1 - \frac{K_y V_{dt}}{V}}, \quad (5)$$

где ρ_{do} – начальная плотность грунтов;

V – объем массива;

K_y – коэффициент уплотнения;

V_{dt} – дополнительный объем материалов упрочнения основания в ходе технологического регулирования (объем песка при уплотнении дренирующего слоя и объем буронабивных свай).

После свайных работ и устройства гибкого ростверка выполняется завершающая стадия КТ – виброуплотнение ростверка и контроль проектной надежности основания для перехода к конструктивно-технологическому циклу возведения насыпи. При организации строительного контроля следует учесть возможность взаимодействия ГТМ и современной контрольно-оповестительной системы (КОС). Разработанная для эксплуатации сооружений в сложных гидрогеологических условиях КОС может быть полезна уже на строительной стадии с целью своевременной регистрации предпредельного состояния, особенно оползневых участков. В структурной схеме (см. рис. 1) предусмотрена взаимосвязь блоков с аппаратной и линейной подсистемами КОС, включающей волоконно-оптические кабели для измерения и контроля температуры и деформаций линейно-распределенными сенсорами [19]. Возможность получения постоянной информации об этих характеристиках позволит контролировать изменение температурного поля и напряжений в грунтах в ходе строительства.

Опыт применения

Практическое приложение результатов многолетних исследований изложено авторами в [1]. В частности отмечено, что «основные положения КТ и геотехнического мониторинга были разработаны и усовершенствованы ИПСС РУТ (МИИТ) в 2009–2019 гг. На их основе разработаны технологические регламенты постройки участков железных дорог Обская – Бованенково – Карская и Беркакит – Томмот – Якутск и строительства автодороги Надым – Салехард [16]. Исследования выполнены в рамках «Соглашения о стратегическом партнерстве между Правительством Ямало-Ненецкого автономного округа и Российским университетом транспорта», подписанного в 2013 году и актуализированного в 2018 г.» [1].

В технологическом регламенте постройки участков линии Обская – Бованенково – Карская мониторинг включал анализ геокриологических процессов для постройки технологической автодороги, одноэтапного и двухэтапного возведения насыпей из притрассовых карьеров. Прогноз формирования теплового поля под проектной насыпью участка СШХ, выполненный по программе «Qfrost» [11] с учетом теплопроводности и годового баланса температур, установил образование новых и развитие существующих несквозных таликовых зон.

Результаты исследований авторов по упрочнению высокотемпературных ММГ проверены в условиях реконструкции железных дорог. Подготовленные предложения по переустройству земляного полотна включены в СТУ – специальные технические условия на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию объекта «Завершение строительства (усиление) железнодорожной линии «Надым – Пангоды», они доложены на конференции, организованной ЯНАО [20].

ВЫВОДЫ

Возведение земляного полотна на высокотемпературных ММГ с применением мощной строительной техники связано с риском предельных состояний основания и потери устойчивости незавершенных геотехнических конструкций. Предложенная КТ включает устройство дренажа, регулируемые технологические режимы и мониторинг, которые совместно и направленно обеспечивают проектные требования по безопасности объекта.

Геотехнический мониторинг на стадии строительного производства и регулирования строительных нагрузок включает взаимодополняющие исследования механических и теплофизических процессов, проходящих в слоях оттаивающих и талых грунтов в ходе строительно-монтажных работ. Для оценки влияния производства работ на состояние грунтов перспективна взаимосвязь функций мониторинга с АСУ ТП строительных машин.

Для эффективной реализации разработанной технологической системы регулирования и мониторинга процессов упрочнения слабых грунтов целесообразно предусмотреть в сводном календарном плане строительства участка железнодорожного пути организацию опытных участков земляного полотна с полевыми испытаниями и геокриологическими исследованиями динамики несущей способности основания под воздействием строительной техники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шепитько Т. В., Луцкий С. Я., Артюшенко И. А. Технологическое регулирование и мониторинг сооружения земляного полотна в криолитозоне // TRANSOILCOLD 2023: Материалы 6-го Международного Симпозиума по строительному инжинирингу грунтовых сооружений на транспорте в холодных регионах, Москва, 02–05 октября 2023 года / под общей редакцией Т. В. Шепитько. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. – С. 185–188. EDN: RCIZKN.
2. Брушков А. В., Харрис С. А., Чэн Г. Геокриология. Характеристики и использование вечной мерзлоты. Том 1. – М.: Директ-Медиа, 2020. – 437 с. ISBN 978-5-4499-1199-5.
3. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
4. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Libroком, 2009. – 445 с. ISBN 978-5-397-00966-9.
5. Ашпиз Е. С. Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог. – М.: Путь-Пресс, 2002. – 112 с. ISBN 5-88332436-3/7.
6. Li, Guoyu; Li, Ning; Quan, Xiaojuan. The temperature features for different ventilated-duct embankments with adjustable shutters in the Qinghai–Tibet railway. Cold Regions Science and Technology, 2006, Iss. 44, pp. 99–110. DOI: 10.1016/j.coldregions.2005.08.002.
7. Jiankun, Liu; Liyun, Peng. Experimental Study on the Unconfined Compression of a Thawing Soil. Cold Regions Science and Technology, 2009, Vol. 58, pp. 92–96. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.03.008.
8. Lutskiy, S. Ya., Shepitko, T. V., Cherkasov, A. M. Composite technology of earthwork construction on taliks in cryolithic zones. Cold Regions Science and Technology, 2013, Vol. 5, pp. 577–581. DOI: 10.3724/SP.J.1226.2013.00577.
9. Луцкий С. Я., Шепитько Т. В., Токарев П. М., Дудников А. Н. Строительство путей сообщения на севере: Научно-практическое издание. – М.: ЛАТМЕС, 2009. – 286 с. ISBN 978-5-93271-529-1.
10. Луцкий С. Я., Ашпиз Е. С., Долгов Д. В. Дорожное полотно и способ его возведения // Патент № 2005104907/09(006247). – М.: ФИПС. – 2005. [Электронный ресурс]: <https://patents.google.com/patent/RU2273687C1/ru>. Доступ 17.12.2023.
11. Луцкий С. Я., Роман Л. Т. Технологическое регулирование характеристик многолетнемерзлых грунтов в основании дорог // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2017. – № 3. – С. 26–30. EDN: ZSSKCL.
12. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1975. – 285 с.
13. Луцкий С. Я., Сакун Б. В. Теория и практика транспортного строительства. – М.: Первая образцовая типография, 2018. – 304 с. ISBN 978-5-98585-219-6.
14. Shepitko, T. V., Lutskiy, S. Ya., Landsman, A. Ya., Artyushenko, I. A. Features of the Construction of the Roadbed in the Areas of High-Temperature Permafrost of the Northern Latitudinal Passage. AIP Conf. Proceedings, 2023, Vol. 2476, Iss. 1, art. 020025. DOI: 10.1063/5.0103111.
15. Лычковский А. А., Луцкий С. Я. Особенности геотехнического мониторинга сооружения земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Вестник СГУПС. – 2022. – № 3 (62). – С. 23–30. DOI: 10.52170/1815-9265_2022_62_23.
16. Shepitko, T. V., Lutskiy, S. Y., Nak, G. I., Cherkasov, A. M. Technological Features of Construction and Reconstruction of Geotechnical Structures in the Arctic Zone. Designs, 2022, Vol. 6, Iss. 2, 34. DOI: 10.3390/designs6020034.
17. Луцкий С. Я., Артюшенко И. А. Методы и модели организации строительства железных дорог. – М.: Изд-во «Перо», 2022. – 147 с. ISBN 978-5-00204-783-3.
18. Floss, R. Verdichtungstechnik im Erdbau und Verkehrswegebau. Deutschland, Koblenz: BOMAG GmbH & Co. OHG, 2001. – 148 p. ISBN 978-3433007068.
19. Дмитриев С. А. Инновационные волоконные технологии для железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. – № 1–2016. – С. 26–27. EDN: VXESQH
20. Шепитько Т. В., Нак Г. И., Черкасов А. М., Луцкий С. Я. Технологические особенности строительства и реконструкции геотехнических сооружений в криолитозоне // В сб.: Современные исследования трансформации криосферы в Арктике. Салехард, 2021. – С. 484–486. DOI: 10.7868/9785604610848130. ●

Информация об авторах:

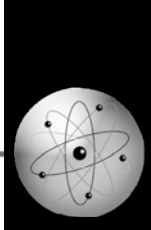
Шепитько Таисия Васильевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, директор Института пути, строительства и сооружений, Москва, Россия, shepitko-tv@mail.ru.

Луцкий Святослав Яковлевич – доктор технических наук, профессор, Москва, Россия, lsy40@mail.ru.

Артюшенко Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия, tyuka351@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.05.2024, одобрена после рецензирования 27.05.2024, принята к публикации 30.05.2024.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.168

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-4>

Стойкость асфальтобетонов к образованию пластической колеи в зависимости от сдвиговой устойчивости вяжущих материалов



Юрий ЦИБАРИУС



Алексей ЛАНИС



Алексей БЕРДЮГИН



Максим РАЗУВАЕВ

*Юрий Александрович Цибариус¹, Алексей Леонидович Ланис²,
Алексей Николаевич Бердюгин³, Максим Алексеевич Разуваев⁴*

^{1, 2, 3, 4}Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия.

¹ORCID 0009-0002-4398-3492; РИНЦ AuthorID 1234849.

²ORCID 0000-0001-5353-1030; Scopus AuthorID 57204686306; РИНЦ AuthorID 651559.

³ORCID: 0009-0009-7834-3576; РИНЦ SPIN-код: 9725–3756; РИНЦ AuthorID: 1234837.

⁴ORCID: 0009-0003-0015-558X.

✉ ¹ yustu@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В работе обоснована актуальность исследования процесса пластического колееобразования на автомобильных дорогах с асфальтобетонными покрытиями. Выдвинута гипотеза о том, что существующий подход к контролю качественных показателей на этапе выпуска асфальтобетонных смесей, в том числе входящих в ее состав компонентов, а именно контроль требуемой стойкости к пластическому колееобразованию получаемых асфальтобетонных покрытий, имеет существенный недостаток. Обозначенный недостаток заключается в том, что оценка возможности использования конкретной партии вяжущего материала для приготовления асфальтобетонной смеси в настоящее время осуществляется только на основании входного контроля качества данного материала, путем сопоставления полученных в лаборатории фактических значений физико-механических характеристик с минимальными нормативными значениями, установ-

ленными для принятой в проектной документации марки вяжущего материала, без учета фактических значений качественных характеристик вяжущего материала, использованного на этапе лабораторного подбора состава. Данный недостаток, в ряде случаев, может привести к необеспечению стойкости асфальтобетонной смеси к пластическому колееобразованию на этапе ее выпуска.

Приведены результаты испытаний сдвиговой устойчивости партий вяжущих материалов одной марки и стойкости асфальтобетонов, приготовленных с использованием данных вяжущих материалов, к пластическому колееобразованию. По результатам исследования подтверждена выдвинутая авторами гипотеза, в том числе получена и статистически обоснована зависимость показателя «средняя глубина колеи» от сдвиговой устойчивости вяжущего материала, состаренного по методу RTFOT.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, асфальтобетон, вяжущие материалы, пластическая колея, сдвиговая устойчивость, стойкость к колееобразованию, средняя глубина колеи.

Благодарности: Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда и Правительства Ямало-Ненецкого автономного округа (проект № 24–19–20036).

Для цитирования: Цибариус Ю. А., Ланис А. Л., Бердюгин А. Н., Разуваев М. А. Стойкость асфальтобетонов к образованию пластической колеи в зависимости от сдвиговой устойчивости вяжущих материалов // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-4>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных нормативных требований, предъявляемых к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог по условиям обеспечения безопасности дорожного движения, является ограничение максимальной глубины колеи на покрытиях. При этом, в настоящее время, до 35 % всех выявляемых случаев ненормативного транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог обусловлено наличием колеи на покрытиях с глубиной, превышающей установленные максимальные значения [1].

Появление колеи на асфальтобетонных покрытиях обусловлено как пластическими деформациями материала покрытия (пластическая колея), так и истиранием материала покрытия (абразивная колея). Пластическая колея, в свою очередь, может быть как поверхностной, связанной с несоответствием фактической сдвигоустойчивости материала слоя покрытия (асфальтобетона) конкретным условиям эксплуатации, так и глубинной, появление которой вызвано сдвиговыми деформациями нижележащих слоев дорожной одежды и земляного полотна [1–3]. В настоящем исследовании рассматривается пластическая поверхностная колея, визуально отличающаяся по наличию гребней выпора [1] – боковых выпоров асфальтобетона по границам полос наката (рис. 1).

Поверхностная пластическая колея на асфальтобетонных покрытиях образовывается в наиболее жаркое время года и имеет, в основном, накопительный эффект – формируется под воздействием нагрузки от проходящих транспортных средств. В соответствии с действующей нормативной документацией стойкость асфальтобетонов к образованию

колеи данного вида оценивается по значениям показателя «средняя глубина колеи», получаемых при проведении соответствующих испытаний в лабораторных условиях. Сущность метода заключается в циклическом воздействии нагрузки (20000 проходов нагруженного колеса) на контрольный образец асфальтобетона при заданной температуре с последующим определением средней глубины колеи по результатам двух параллельных испытаний [4].

Целевые значения показателя «средняя глубина колеи» установлены в нормативной документации для асфальтобетонных смесей различных типов в зависимости от условий эксплуатации конкретных участков автомобильных дорог. Достижение данных целевых показателей в лабораторных условиях является обязательным для утверждения состава асфальтобетонной смеси в производство работ. Дополнительно предусмотрен контроль качества асфальтобетонной смеси по данному параметру на этапе ее выпуска с периодичностью 1 раз в 15 суток.

Факт существенного влияния свойств вяжущего материала, входящего в состав асфальтобетонных смесей, на свойства асфальтобетонов, в том числе на устойчивость к образованию пластической колеи, отмечен в работах многих авторов [1; 3; 5–15]. Оценка возможности использования конкретной партии вяжущего материала для приготовления асфальтобетонной смеси в настоящее время осуществляется на основании входного контроля качества данного материала, путем сопоставления полученных в лаборатории фактических значений физико-механических характеристик с минимальными нормативными значениями, установленными



Рис. 1. Гребень выпора на асфальтобетонном покрытии с поверхностной пластической колеей [фотоматериал авторов].





а)



б)

Рис. 2. Подготовка контрольных образцов-плит (а) с испытанием на динамическом сдвиговом реометре (б) [фотоматериалы авторов].

для принятой в проектной документации марки вяжущего материала, без учета фактических значений качественных характеристик вяжущего материала, использованного на этапе лабораторного подбора состава. Реализация данного подхода, заключающегося только в подтверждении требуемой марки вяжущего материала при оценке возможности его использования, без учета фактических значений его характеристик, может привести к необеспечению стойкости асфальтобетонной смеси к пластическому колееобразованию на этапе ее выпуска.

Для проверки данной гипотезы и разработки нового подхода к оценке возможности применения поступающих на производство партий вяжущих материалов авторами были проведены исследования, направленные на выявление зависимости стойкости асфальтобетонов к образованию пластической колеи от свойств вяжущих материалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Параметрами, характеризующими эффективность работы вяжущего материала при положительных температурах, является сдвиговая устойчивость исходного вяжущего и сдвиговая устойчивость вяжущего, состаренного по методу *RTFOT*. Метод *RTFOT* позволяет оценить изменения свойств вяжущего материала (в нормативной документации принят термин «старение»), происходящие в процессе приготовления горячих асфальтобетонных смесей.

В лаборатории проведены исследования образцов вяжущих материалов марки *PG 64-40* четырех производителей – далее образцы № 1 – № 4. Выбор марки битумного вяжущего обусловлен климатическими условиями эксплуатации автомобильных дорог на территории Новосибирской области.

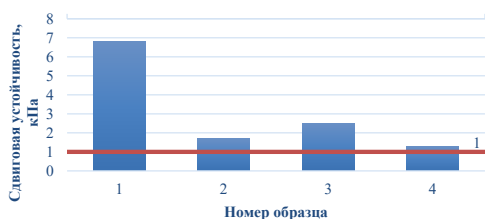
Для определения величины сдвиговой устойчивости битумного вяжущего в соответствии с нормативной методикой из каждого вяжущего материала изготовлены контрольные образцы диаметром 25 мм (рис. 2 а) с их последующим испытанием на динамическом сдвиговом реометре (рис. 2 б).

Результаты испытаний сдвиговой устойчивости исходного вяжущего и сдвиговой устойчивости вяжущего, состаренного по методу *RTFOT*, для всех образцов представлены на рис. 3. Уровень горизонтальной красной линии на рис. 3 соответствует требованиям, предъявляемым к значениям сдвиговой устойчивости вяжущего материала марки *PG 64-Y* при температуре испытания 64°C.

Полученные результаты подтверждают, что все испытанные вяжущие материалы соответствуют требованиям, предъявляемым к марке *PG 64-Y*, при этом для испытанных образцов значения сдвиговой устойчивости исходного вяжущего различаются более чем в 5 раз, а значения сдвиговой устойчивости вяжущего, состаренного по методу *RTFOT*, – более чем в 2 раза.

Для определения влияния сдвиговой устойчивости битумного вяжущего на образование пластической колеи в качестве исследуемой была выбрана щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь *SMA-16*, используемая на территории Новосибирской области, состав которой, приведенный в табл. 1, был подобран авторами в рамках выполнения работ по строительному контролю объектов дорожного строительства.

На этапе подбора указанного состава в лабораторных условиях было получено значение показателя «средней глубины колеи» 3,30 мм при значениях сдвиговой устойчивости использованного битумного вяжущего *PG 64-40* при температуре испытания 64°C: ис-



а)



б)

Рис. 3. Результаты испытаний сдвиговой устойчивости исходного вяжущего (а) и вяжущего, состаренного по методу RTFOT (б), при температуре испытания 64°С [выполнено авторами].



а)



б)

Рис. 4. Подготовка контрольных образцов-плит (а) с испытанием на установке прокатывания нагруженного колеса (б) [фотоматериалы авторов].

ходного – 1,3 кПа; состаренного по методу RTFOT – 3,0 кПа.

В рамках настоящего исследования в лабораторных условиях подготовлены четыре пробы щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16 с использованием исследованных ранее вяжущих материалов марки PG 64-40.

Для определения значений показателя «средней глубины колеи» из каждой подготовленной пробы щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16 на секторном уплотнителе приготовлены контрольные образцы-плиты (рис. 4 а) с их последующим испытанием на установке прокатывания нагруженного колеса (рис. 4 б).

Результаты определения значений показателя «средняя глубина колеи», полученные на этапе подбора состава и этапе проведения данного исследования, приведены в табл. 2.

Анализируя результаты проведенных испытаний, следует отметить, что для образца № 4, соответствующего марке вяжущего PG 64-40 по показателям сдвиговой устойчивости, получено значение показателя «сред-

Таблица 1
Состав смеси SMA-16
[выполнено авторами]

Наименование материала		Содержание в смеси, %
Минеральная часть смеси по фракциям	фр. 0–4 мм	16,5
	фр. 4–11,2 мм	44,3
	фр. 11,2–16,0 мм	25,1
	Мин. порошок МП-1	8,5
Стабилизирующая добавка СД-3		0,4 (в 100 %)
Органическое вяжущее PG 64-40		5,2 (в 100 %)

няя глубина колеи», не соответствующее требованию нормативной документации, установленному для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси SMA-16 – не более 3,5 мм. Данный факт подтверждает корректность выдвинутой авторами гипотезы.

Для разработки нового подхода к оценке возможности применения поступающих на производство партий вяжущих материалов авторами проведен регрессионный анализ



Таблица 2

Результаты определения значений показателя «средняя глубина колеи»
[выполнено авторами]

Параметр	Ед. изм.	Значение параметра				
		на этапе подбора состава смеси	для образца №			
			1	2	3	4
Средняя глубина колеи	мм	3,30	1,93	3,03	2,96	4,62

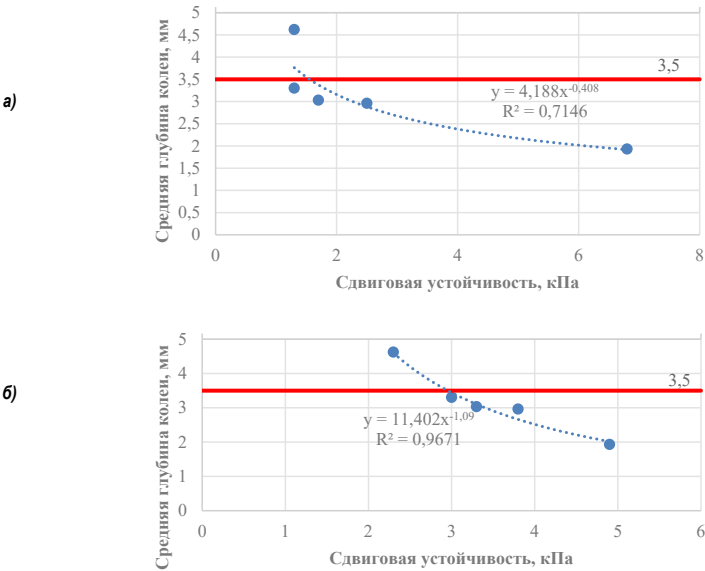


Рис. 5. Зависимость значения показателя «средняя глубина колеи» от сдвиговой устойчивости исходного вяжущего (а) и вяжущего, состаренного по методу RTFOT (б) [выполнено авторами].

Таблица 3

Результаты проверки значимости зависимостей по F-критерию
[выполнено авторами]

№ зависимости	n	m	R ²	F _{факт}	F _{табл}	
					α = 0,05	α = 0,01
1	5	1	0,7146	7,51	10,13	34,12
2	5	1	0,9671	88,19	10,13	34,12

полученных данных, по результатам которого установлены функциональные зависимости значения показателя «средняя глубина колеи» от значения сдвиговой устойчивости вяжущего для асфальтобетонной смеси SMA-16 исследуемого состава (рис. 5).

Полученные зависимости имеют следующий вид:

$RD = 4,188 \cdot \left(\frac{G^*}{\sin \delta}\right)^{-0,408},$ (1)

$RD = 11,402 \cdot \left(\frac{G^*}{\sin \delta}\right)^{-1,09},$ (2)

где RD – средняя глубина колеи, мм;

G* – комплексный модуль сдвига, кПа;

δ – фазовый угол, рад;

G*/δ – сдвиговая устойчивость исходного вяжущего (1) или вяжущего, состаренного по методу RTFOT (2), кПа.

Результаты проверки значимости полученных зависимостей (уравнений регрессии) по критерию Фишера (F-критерию) приведены в табл. 3.

Данные, представленные в табл. 3, подтверждают возможность использования зависимости (2) при расчете прогнозируемых значений показателя «средняя глубина колеи» через значения сдвиговой устойчивости вяжущих материалов, состаренных по методу RTFOT.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований авторами подтверждена гипотеза о наличии существенного недостатка в существующем подходе к выпуску асфальтобетонных смесей, заключающегося только в подтверждении требуемой марки вяжущего материала при оценке возможности его использования, без учета фактических значений его характеристик. Показано, что данный недостаток в ряде случаев может привести к необеспечению стойкости асфальтобетонной смеси к пластическому колееобразованию. Установлена взаимосвязь стойкости асфальтобетонов к образованию пластической колеи и сдвиговой устойчивости вяжущих материалов, входящих в состав асфальтобетонов, получена функциональная зависимость значения показателя «средняя глубина колеи» от значения показателя сдвиговой устойчивости вяжущего, состаренного по методу *RTFOT*, для асфальтобетонной смеси *SMA-16* исследуемого состава. Использование данной функциональной зависимости позволит определять прогнозную величину показателя «средняя глубина колеи» на этапе входного контроля вяжущих материалов, что даст возможность существенно снизить вероятность выпуска асфальтобетонной смеси, не соответствующей требованиям нормативной документации по стойкости к образованию поверхностной пластической колеи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Конорева О. В., Муравьев Ю. А. Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4 (43). – С. 136. EDN: VYBWGL.
2. Mijoski, G. Rut appearance on pavement surface and measurements on motorway A-4 in Macedonia. International Scientific Conference. People, Buildings and Environment. Kromeriz, Czech Republic, 2014, pp. 296–305.
3. Костельнов М. П., Первалов В. П., Пахаренко Д. В. Практика борьбы с колеей асфальтобетон-

ных покрытий может быть успешной // Дорожная техника. – 2011. – № 2. – С. 54–70.

4. Симчук Е. Н., Жданов К. А., Дедковский И. А. Совершенствование подходов и методов оценки физических и эксплуатационных свойств дорожного асфальтобетона в России // Дороги и мосты. – 2021. – № 1 (45). – С. 181–221. EDN: NLXXIP.

5. Ziari, H., Shirini, B., Imaninasab, R. Rutting evaluation of rubberized and SBS modified porous asphalt mixtures. Engineering Solid Mechanics, 2015, Vol. 3, Iss. 4, pp. 253–262. DOI: 10.5267/j.esm.2015.6.001.

6. Xiongwei, D., Yanshun, J., Shaoquan, W., Ying, G. Evaluation of the Rutting Performance of the Field Specimen Using the Hamburg Wheel-Tracking Test and Dynamic Modulus. Advances in Civil Engineering, 2020, Iss. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1155/2020/9525179.

7. Левкович Т. И., Беляков А. И., Билько А. Е. [и др.]. О модификации битумов и асфальтобетонных смесей для повышения сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Приволжский научный вестник. – 2016. – № 1 (53). – С. 48–53. EDN: VJLTHR.

8. Кирюхин Г. Н. Сдвигоустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – № 40. – С. 76–79. EDN: NUZDXF.

9. Чернов С. А., Чирва Д. В., Леконцев Е. В. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колееобразования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог // Наукоедение. – 2012. – № 4 (13). EDN: PVXHPX.

10. Чернов С. А., Каклюгин А. В., Никитина А. Н., Голубин К. Д. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона // Вестник МГСУ. – 2017. – Вып. 12. – № 6 (105). – С. 654–660. EDN: ZASZGZ.

11. Котенко Н. П., Щерба Ю. С., Евфорицкий А. С. Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Пластические массы. – 2019. – № 11–12. – С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-11-12-47-49>.

12. Прибылов В. С., Пичугин А. П. Долговечность асфальтобетона на сталепластинных шлаках с модифицированным нанодобавками битумом // Известия вузов, Строительство. – 2023. – № 4 (772). – С. 14–23. EDN: CDUCAG.

13. Ерофеев В. Т., Сальникова А. И. Исследование реологических свойств модифицированного битума // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 48–63. EDN: WIQROR.

14. Беляев П. С., Полушкин Д. Л., Макеев П. В. [и др.]. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник ТГТУ. – 2016. – № 2. – С. 264–271. EDN: VWDSXH.

15. Дубина С. И. Надежность асфальтобетонных покрытий автомобильных магистралей // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 3 (3). – С. 60–63. EDN: JXCMDP.

Информация об авторах:

Цибариус Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия, yustu@yandex.ru.

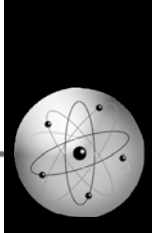
Ланис Алексей Леонидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия, lanisal@stu.ru.

Бердюгин Алексей Николаевич – аспирант, ведущий инженер по надзору за строительством Научно-исследовательской лаборатории «Контроль качества дорожных одежд и земляного полотна» Сибирского государственного университета путей сообщения Новосибирск, Россия, 2438988@mail.ru.

Разуваев Максим Алексеевич – аспирант Сибирского государственного университета путей сообщения, Новосибирск, Россия, sen@stu.ru.

Статья поступила в редакцию 15.04.2024, одобрена после рецензирования 13.05.2024, принята к публикации 16.05.2024.





Разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна с применением искусственного интеллекта



Артём РАДА



Николай КОНЬКОВ

Артём Олегович Рада¹,
Николай Юрьевич Коньков²

^{1, 2} Институт цифры Кемеровского государственного университета, Кемерово, Россия.

¹ ORCID 0000-0001-7678-8402; Scopus Author ID: 57201063141; РИНЦ Author ID: 1044755.

✉ ¹ rada.ao@kemsu.ru.

АННОТАЦИЯ

Автомобильные дороги являются стратегически необходимой частью инфраструктуры страны, высокие требования к их состоянию обуславливают регулярный контроль качества дорожного полотна. Большая протяженность автомобильных дорог в России и влияние на них погодноклиматических условий (сезонные колебания температур, осадки) подчеркивают актуальность поиска методов неразрушающего контроля при диагностике дорог, обеспечивающих короткие сроки выполнения диагностических работ и использование минимальных ресурсов.

Рассмотрены существующие решения для обнаружения повреждений дорожного полотна: применение георадара, лазерного метода, метода анализа вибровоздействий неровностей дорожной поверхности, детекция повреждений по данным лидар-устройств и системы мобильного картографирования.

Целью исследования является разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна, позволяющего осуществлять детекцию дефектов дорожного покрытия по снимкам, полученным в процессе диагностики автомобильных дорог аэродромно-дорожной измерительной передвижной лабораторией КП-514-RDT, в комплексе с программным обеспечением IndorRoad и RDT-Line.

Разработка алгоритма для обнаружения дефектов покрытия автодороги осуществлялась с применением методов машинного обучения. Выявленные дефекты имеют точную геопривязку по пикетажу измеряемого участка автодороги. В результате разработки получена обученная модель, позволяющая в автоматическом режиме размечать на снимке дефекты разных классов. Разработанный алгоритм интегрирован в программное обеспечение для управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог.

Ключевые слова: автомобильные дороги, диагностика автомобильных дорог, неразрушающий контроль, искусственный интеллект, машинное обучение, детекция дефектов дорожного покрытия.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 30 сентября 2022 г № 075–15–2022–1195.

Для цитирования: Рада А. О., Коньков Н. Ю. Разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна с применением искусственного интеллекта // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-5>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние дорожного полотна напрямую влияет на степень безопасности дорожного движения [1; 2]. Согласно статистике Научного центра безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации, по состоянию на конец 2022 года неудовлетворительные дорожные условия, подразумевающие ненадлежащее состояние и обустройство автомобильных дорог и железнодорожных переездов, являлись причиной 30,5 % произошедших дорожно-транспортных происшествий. Число погибших в таких ДТП составило 4089 человек, а раненных – 48 241 [3]. В этой связи важной государственной задачей является обеспечение мер по поддержанию дорог в нормативном состоянии.

По данным Росстата, в настоящее время протяженность сети автомобильных дорог общего пользования в России составляет 1 575,5 тыс. км, из которых 64,7 тыс. км – дороги федерального значения, 503 тыс. км – дороги регионального значения или межмуниципального значения, 1 008 тыс. км – дороги местного значения. Твердое покрытие отсутствует на 29,2 % автодорог, усовершенствованную дорожную одежду проезжей части, обеспечивающую высокую пропускную способность независимо от природно-климатических условий, имеют меньше половины из них¹. При этом 15,3 % федеральных дорог², 49,4 % региональных дорог и 46,3 % дорог местного значения не отвечают нормативным требованиям¹, что может стать причиной дорожно-транспортных происшествий. Следовательно, своевременное выявление и диагностика повреждений дорожного полотна имеют решающее значение для целей обеспечения безопасности дорожного движения [4; 5].

Согласно требованиям законодательства³, ежегодная диагностика, обследование и оценка технического состояния автомобильных

дорог в целях определения соответствия транспортно-эксплуатационных характеристик требованиям технических регламентов является обязанностью владельца автомобильных дорог. Качественный мониторинг автодороги позволяет проанализировать и спрогнозировать срок службы объекта дорожного хозяйства, грамотно спланировать будущие работы по приведению объектов к соответствию нормативным требованиям, распределить финансовые ресурсы и контролировать работу генерального подрядчика, что благоприятно скажется на улучшении дорожной безопасности и снижении смертности от ДТП по причине неудовлетворительных дорожных условий.

Протяженность автомобильных дорог в России подразумевает большой объем работ по диагностике, это оказывает воздействие на сроки и стоимость их проведения, что особенно важно учитывать ввиду ограниченности ресурсов местных и региональных бюджетов [6]. Здесь актуальным становится создание более эффективных и оперативных методов оценки качества дорожного полотна.

Традиционные методы оценки качества автодорог [7] занимают длительное время, требуют большого количества оборудования и специалистов, что не позволяет говорить об их оперативности и эффективности. Особую значимость при проведении диагностики дорожных конструкций в этой связи приобретают мобильные методы неразрушающего контроля, в таком случае при выполнении исследования объект не теряет своих исходных свойств, а работы возможно выполнить в короткие сроки, не используя при этом большой объем ресурсов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью формирования требований к разработке алгоритма анализа состояния дорожного полотна проведен обзор существующих решений мобильного неразрушающего контроля при диагностике автомобильных дорог.

В статье [8] подробно описан один из методов неразрушающего контроля – диагностика автомобильных дорог с применением георадара. Георадиолокационный метод целесообразно применять в целях выявления различных признаков деформации дорожного покрытия, которые не определяются методом бурения в дорожной одежде. Георадиолокационное исследование основано на

¹ Транспорт. Официальная статистика: Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>. Доступ 10.09.2023.

² Протяженность федеральных дорог. [Электронный ресурс]: <https://map.rosavtdor.gov.ru/>. Доступ 10.09.2023.

³ Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/26452>. Доступ 10.09.2023.



изучении поля высокочастотных волн, а также различии горных пород по диэлектрической проницаемости. В случае, описанном в указанной работе, георадар ОКО-2 с воздушной экранированной антенной АБ-1000Р был прикреплен с помощью кронштейна к автомобилю, осуществляющему непрерывное движение. Исследования проводились на примере действующего объекта, по результатам анализа совокупности отраженных сигналов в специальном программном обеспечении выявлены трещины, разрушения, ямы, присутствующие в верхнем слое дорожной одежды, требующие проведения замены асфальтобетонного покрытия. Данный метод эффективен в решении задач обнаружения и выявления дефектов дорожного полотна, но в то же время интерпретация результатов работы георадара представляет сложный и трудоемкий процесс, доступный только специалистам, имеющим профессиональные навыки в области геологических исследований. Кроме того, метод имеет свои ограничения: качество полученных исследований может снизиться при плохих погодных условиях (дождь, температура воздуха ниже -40 и выше $+40$ градусов)⁴.

Для получения точной геометрии и визуального описания дорожных дефектов целесообразно использовать высокодетализированные пространственные данные. Одним из способов получения таких данных является проведение лазерного сканирования автомобильной дороги. Лазерное сканирование производится с помощью камер, лазерного оборудования (лидар) и навигационных устройств, установленных на транспортном средстве [9]. Результатом лазерного сканирования будет являться облако точек, представляющее цифровую трехмерную модель дороги. С помощью трехмерной модели возможно определять дефекты дорожной поверхности и проводить необходимые измерения. Из-за дороговизны лазерного оборудования данный метод не может быть широко применен для диагностики региональных и местных дорог, кроме того работа лидара ограничена в некоторых погодных условиях.

В работе [10] входные данные для обнаружения дорожных дефектов включают об-

лака точек и ортомозаику, собранные с помощью технологии мобильного картографирования, подразумевающего использование сканирующей системы Trimble MX9, установленной на крыше транспортного средства. Способ включал несколько этапов: сбор данных посредством мобильного картографирования, обработка полученных результатов, классификация пространственных объектов для дальнейшего определения местоположения конкретного дефекта (проезжая часть, велослужба, пешеходная зона), визуальный осмотр оператором ортомозаики и панорамных снимков и извлечение из них области повреждений дороги в виде полигонов, линий или точек. Каждому выделенному изображению присваивались уникальный идентификатор и атрибуты, включающие поверхность дефекта, местоположение дефекта, номер полосы расположения, глубину, тип, уровень серьезности, размер и другие геометрические параметры. По результатам выполнения работ получена база данных повреждений автомобильной дороги, состоящая из шейп-файлов с точечными, линейными и полигональными дефектами.

Метод мобильного картографирования в диагностике дорог имеет ряд преимуществ: высокая скорость сканирования, позволяющая не останавливать движение на объекте исследования, сокращение времени и финансовых затрат на проведение полевых работ, большой объем атрибутивных данных по каждому повреждению, точное определение местоположения найденного дефекта, возможность сортировки базы данных повреждений. При этом использование данного метода предполагает работу обученного оператора, способного по изображению осуществить не только поиск, но и классификацию дефектов дорожного полотна. Автоматизация поиска повреждений в данном случае требует использования специализированного программного обеспечения.

Задачу детекции дефектов дорожного покрытия по данным лазерного сканирования без необходимости разметки данных с участием оператора исследует автор статьи⁵. Целью проекта являлась разработка алгоритма автоматического обнаружения дефек-

⁴ Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. [Электронный ресурс]: <https://pandia.ru/text/77/122/621.php>. Доступ 23.09.2023.

⁵ Детекция дефектов дорожного покрытия без размеченных данных: Хакатон, Lidar, Ransac, ICP и 44 бессонных часов. [Электронный ресурс]: <https://habr.com/ru/articles/765230/>. Доступ 25.02.2024.

тов дорожного покрытия на данных, полученных с лидар-устройства. Сложность такого подхода заключается в большом объеме подготовительных процессов, включающих подготовку качественного облака точек и выделения области поиска дефектов. Так, на первом этапе произведена конвертация формата данных *db* с вложенным бинарным кодом в удобный для работы формат *csv*. Затем с помощью алгоритма RANSAC произведена коррекция данных. В целях создания качественного датасета полученные облака точек выровнены с помощью алгоритма RANSAC. Для минимизации потенциальных ошибок и искажения с использованием ICP алгоритма два облака точек объединены в одно. Это позволило преобразовать облако точек в качественный материал для дальнейшего поиска повреждений дорожного полотна. Детекция дефектов, в частности глубоких ям, производилась в выделенной зоне с наивысшей плотностью точек. Сам разработанный алгоритм поиска ям заключался в определении статистических выбросов в распределении высоты точек с применением метода кластеризации DBSCAN, позволяющему группировать точки, определяемые как «яма», в отдельные кластеры. По результатам всех проведенных работ определены координаты центра каждого кластера, представляющие собой точное местоположение дефекта дороги. Таким образом, в работе удалось добиться результата детекции одного из видов повреждений – ямы.

В патенте на изобретение «Способ диагностики ровности поверхности дорожного покрытия» [11] представлен способ оценки качества дорожного покрытия путем анализа вибровоздействий неровностей дороги при движении автомобиля. Данный способ предполагает использование мобильного виброизмерительного комплекса, состоящего из вибродатчиков, установленных на неподдресоренной части автомобиля, вычислительного комплекса, рабочего места оператора, средств электропитания и спутниковой системы позиционирования. Оценка качества дорожного полотна в данном случае производится за счет сравнения амплитуд вибровоздействия полученной эталонной базы параметров ровности дороги на этапе паспортизации при вводе дороги в эксплуатацию и данных контрольного измерения в период эксплуатации автодороги на одноименных

точках трассы. На основе результатов анализа изменения параметров вибровоздействий возможно выявить участки разрушения покрытия, сформировать рекомендации по корректировке скоростного режима на исследуемых участках автодороги и, по заявлению авторов, спрогнозировать сроки эксплуатации дорожного покрытия. Необходимость эталонной базы параметров ровности автодороги затрудняет использование данного метода при больших объемах работ, так как требует увеличения затрат на проведение паспортизации.

Рассмотренные решения неразрушающего контроля эффективны в диагностике состояния автомобильных дорог, но в полной мере не обеспечивают автоматизацию поиска повреждений дорожной поверхности, удобного для использования принимающими решения лицам. На сегодняшний день набирают популярность и имеют доказанную эффективность инструменты автоматизации и повышения оперативности получения данных о состоянии дорожного полотна, разработанные с использованием искусственного интеллекта.

Диагностика автомобильных дорог с использованием искусственного интеллекта в последнее десятилетие широко изучается за рубежом [12–17]. В России данная тема представлена работами С. С. Кравцова, И. А. Канаевой, Б. В. Соболя, П. В. Васильева и другими [18–23]. В основе решений – метод автоматической обработки изображений, полученных с помощью смартфона, видеорегистратора, установленного в автомобиле, или БПЛА. В данной работе продемонстрирован процесс разработки алгоритма анализа состояния дорожного полотна, позволяющего осуществить детекцию дефектов дорожного покрытия по снимкам аэродромно-дорожной лаборатории.

На основе результатов обзора существующих решений мобильного неразрушающего контроля при диагностике автомобильных дорог сформированы отличительные характеристики алгоритма анализа состояния дорожного полотна, разрабатываемого в рамках проведения данной научной работы:

– сбор данных для оценки состояния дорожного покрытия при движении на скорости (без дорогостоящего перекрытия движения транспорта по автодорогам и без рисков, связанных с проводимыми работами вдоль оживленных магистралей с плотным движением);



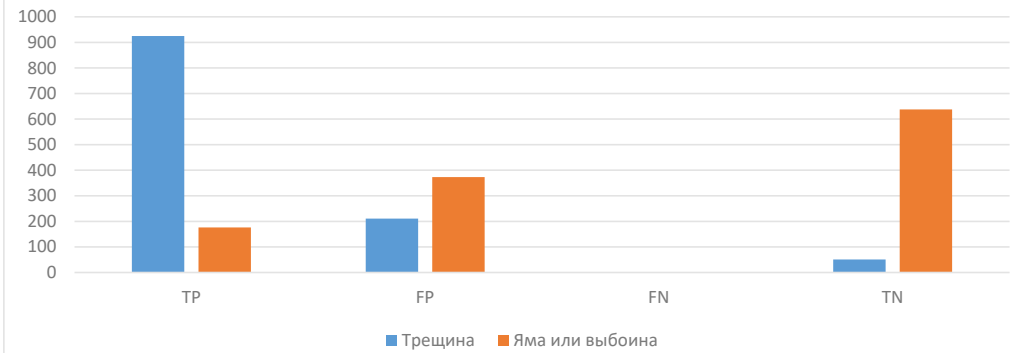


Рис. 1. Метрика «Матрица ошибок» [выполнена авторами].

- применение машинного зрения для обнаружения повреждений дорожного полотна;
- отсутствие необходимости проводить первичную (эталонную) съемку состояния дорожного полотна автомобильной дороги;
- точная геопривязка выявленного дефекта по пикетажу измеряемого участка дороги.

При разработке алгоритма применялись данные, полученные в рамках проведения работ по паспортизации автомобильных дорог с использованием комплекса измерительной аэродромно-дорожной лаборатории КП-514-RDT в комплекте с программным обеспечением IndorRoad и RDT-Line. Полученные в ходе исследования кадры с помощью программного обеспечения были сформированы в отдельный поток фотографий небольших по протяженности участков дорожного полотна одного размера, условно соединяющихся в единый кадр всего диагностируемого пути. На втором этапе была определена оптимальная архитектура нейронной сети для решения задачи нахождения и сегментации дефектов дорожного покрытия; на третьем – проведена подготовка своего обучающего датасета: в ручном режиме на 2500 снимках были определены 35225 дефектов. Для разметки использовались такие типы объектов, как трещина, яма

или выбоина, сетка трещин, волны, просадки и вспучивание, заделанные выбоины и другие дефекты.

В результате машинного обучения используемой архитектуры нейронной сети Mask R-CNN была получена модель, позволяющая в автоматическом режиме размечать на снимке дефекты разных классов. Качество модели оценивалось по датасету, включающему 1000 фотографий с дефектами двух классов: «Трещины» и «Ямы/выбоины».

В целях оценки производительности модели приведена метрика «Матрица ошибок» (рис. 1). Метрика представляет собой таблицу с четырьмя различными комбинациями:

- 1) TP – True Positive (истинно-положительное решение): модель нашла дефект на снимке, где он присутствует;
- 2) TN – True Negative (истинно-отрицательное решение): модель не обнаружила дефектов на снимке, где дефекты отсутствуют;
- 3) FP – False Positive (ложно-положительное решение): модель нашла дефект на снимке, где отсутствуют дефекты;
- 4) FN – False Negative (ложно-отрицательное решение): модель не нашла дефект, но на снимке он присутствует.

По рис. 1 видно, что в большинстве случаев по классу «Трещина» модель осуществляет верную классификацию, для класса «Яма или выбоина» модель чаще всего принимает истинно-отрицательное решение.

В табл. 1 также приведены метрики, используемые для оценки работы алгоритма, подготовленные на основе расчета показателей матрицы ошибок.

На рис. 2, 3 представлены результаты работы алгоритма по классам «Трещина»

Таблица 1
Метрики, используемые для оценки работы алгоритма

№ п/п	Наименование метрики	Значение
1	Точность	0.73
2	Прогностическая ценность положительного результата	0.64
3	Чувствительность	1.00
4	Специфичность	0.49

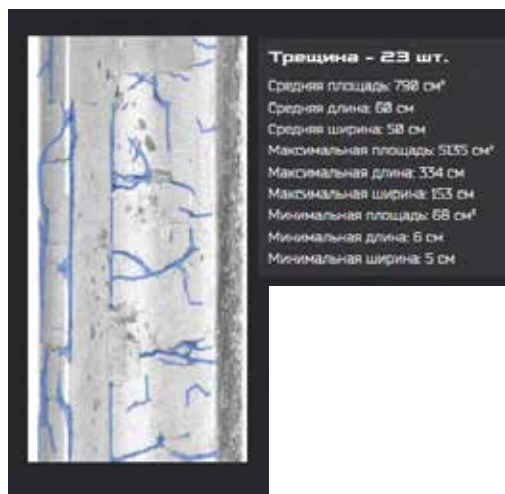


Рис. 2. Результат работы алгоритма по классу «Трещина» [выполнено авторами].



Рис. 3. Результат работы алгоритма по классу «Выбоина» [выполнено авторами].

и «Выбоина». По каждому снимку определены параметры площади, длины и ширины выявленных повреждений.

Разработанный алгоритм интегрирован в web-приложение «Система управления мониторингом состояния объектов жилищно-коммунального хозяйства (теплотрасс, благоустройства (газоны, парки, городские леса), зданий (кровля, фасады))» в части модуля управления мониторингом состояния региональных и муниципальных дорог.

ВЫВОДЫ

Создание более эффективных и оперативных методов неразрушающего контроля качества автомобильных дорог в условиях ограниченности ресурсов местных и региональных бюджетов является актуальной задачей. В данном контексте перспективными являются методы мобильного неразрушающего контроля качества дорог, позволяющие не подвергать дорожное полотно дополнительным воздействиям и не требующие остановки автомобильного потока на участке обследования.

Рассмотренные методы неразрушающего контроля состояния автомобильных дорог не в полной мере обеспечивают автоматизацию поиска и определения параметров повреждений дорожного полотна. Кроме того, ограничения рассмотренных методов, такие как сложность в интерпретации результатов, необходимость участия в интерпретации обученного специалиста, требования к наличию эталонной базы параметров автомобиль-

ной дороги, препятствуют возможности их широкого применения, в том числе для принятия управленческих решений ответственных лиц.

В рамках работы разработан алгоритм анализа состояния дорожного полотна, позволяющий в автоматическом режиме осуществлять детекцию дефектов дороги по снимкам, полученным при паспортизации автомобильных дорог с использованием комплекса измерительной аэродромно-дорожной лаборатории КП-514-RDT в комплекте с программным обеспечением IndorRoad и RDT-Line. При классификации дефектов и определении их параметров не требуется работа оператора. Детекция повреждений производится с использованием обученной нейронной сети. Разработанный алгоритм позволяет оперативно и без выезда на место оценить текущее состояние автомобильной дороги, определить участки, требующие ремонта, измерить параметры повреждений и оценочно определить стоимость возможных работ по текущему или капитальному ремонту.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Учаева А. А. Дорожные условия и безопасность движения // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 2 (17). – С. 9. EDN: SNQXFK.
2. Jiaying Chen, Xiaoming Huang, Binshuang Zheng, Runmin Zhao, Xiuyu Liu, Qingqing Cao, Shengze Zhu. Real-time identification system of asphalt pavement texture based on the close-range photogrammetry. Construction and Building Materials, Vol. 226, 2019, pp. 910–919. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.321.
3. Баканов К. С., Ляхов П. В., Айсанов А. С., Исаев М. М., Никулин Е. Д., Коблов П. С., Сергунова А. С., Селедников Н. В., Наумов С. Б., Князев А. С. Дорожно-





транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор. [Электронный ресурс]: <https://media.mvd.ru/files/embed/4761994>. Доступ 22.09.2023.

4. Yuchen Wang, Bin Yu, Xiaoyu Zhang, Jia Liang. Automatic extraction and evaluation of pavement three dimensional surface texture using laser scanning technology. *Automation in Construction*, 2022, Vol. 141, 104410. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104410.

5. Xu Yang, Jianqi Zhang, Wenbo Liu, Jiayu Jing, Hao Zheng, Wei Xu. Automation in road distress detection, diagnosis and treatment. *Journal of Road Engineering*, 2024, Vol. 4, Iss. 1, pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.jreng.2024.01.005.

6. Рада А. О., Акулов А. О., Никитина О. И. Разработка веб-приложения для мониторинга автодорог в системе цифрового управления регионом ресурсного типа // *Уголь*. – 2023. – № S12. – С. 117–123. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123.

7. Третьяков С. А., Попов И. А. Анализ способов определения ровности покрытия автомобильных дорог // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С. 76–80. EDN: YMXHPV.

8. Дормидонтова Т. В., Домнин О. В. Выявление дефектов, определение толщины дорожной одежды гео-радиолокационным методом // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сб. статей 77-й всероссийской научно-техн. конференции / Под редакцией М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, В. Ю. Алпатовой*. – Самара: СГТУ, 2020. – С. 126–131. EDN: PWSSTT.

9. Ma, L., Li, Y., Li, J., Wang, C., Wang, R., Chapman, M. A. Mobile Laser Scanned Point-Clouds for Road Object Detection and Extraction: A Review. *Remote Sensing*, 2018, Vol. 10, Iss. 10, 1531. DOI: 10.3390/rs10101531

10. Davidovich, M., Kuzmich, T., Vasich, D., Hiv, V., Brunn, A., Bulatovich, V. Methodology of Detection and Administration of Road Defects Based on Mobile Mapping Data. *Computer modeling in engineering and science*, 2021, Vol. 129, Iss. 1, pp. 207–226. DOI: 10.32604/cmescs.2021.016071.

11. Милых В. А., Соколова О. С., Степкина Е. Ю. Способ диагностики ровности поверхности дорожного покрытия. Патент на изобретение RU 2519002 C2, 10.06.2014. Патентное ведомство: Россия. Заявка № 2012138844/03 от 10.09.2012. [Электронный ресурс]: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002519002_20140610_C2_RU/. Доступ 21.02.2024.

12. Munawar, H. S., Hammad, A. W. A., Haddad, A., Soares, C. A. P., Waller, S. T. Image-Based Crack Detection Methods: A Review. *Infrastructures*, 2021, Vol. 6, Iss. 8, p. 115. DOI: 10.3390/infrastructures6080115.

13. Song, W., Jia, G., Zhu, H., Jia, D., Gao, L. Automated Pavement Crack Damage Detection Using Deep Multiscale Convolutional Features. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, Vol. 2020, Iss. 1. DOI: 10.1155/2020/6412562.

14. Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., Yang, L. Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2018, Vol. 11, Iss. 10, pp. 3701–3712. DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2865528.

15. Iraldi, F., Al Maki, W. F. Damage Classification on Roads Using Machine Learning. 2021 International

Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA), Bandung, Indonesia, 2021, pp. 151–156. DOI: 10.1109/ICoDSA53588.2021.9617520.

16. Minh-Tu Cao, Quoc-Viet Tran, Ngoc-Mai Nguyen, Kuan-Tsung Chang. Survey on performance of deep learning models for detecting road damages using multiple dashcam image resources. *Advanced Engineering Informatics*, 2020, Vol. 46, 101182. DOI: 10.1016/j.aei.2020.101182.

17. Silva Vaz, E., Gasparello, L. F., Gouveia, L. T., Senger, L. J. Detecting damage in roads using convolutional neural networks. *Iberoamerican Journal of Applied Computing*, 2023, Vol. 11, Iss. 1, pp. 1089–1098. DOI: 10.1109/BigData.2018.8621899.

18. Мокрушин Н. Ю., Сперанский Д. В., Чудинов С. А. Автоматизированное обнаружение дефектов на дорожном полотне с применением сверточных нейронных сетей // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: материалы XV Международной научно-техн. конференции. – Екатеринбург: УГЛУТУ, 2024. – С. 489–494. [Электронный ресурс]: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12844/1/konf_24_087.pdf. Доступ 21.02.2024.

19. Васильев П. В., Сеничев А. В. Применение нейросетевых технологий в задаче контроля поверхностных дефектов // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*. – 2020. – № 1 (205). – С. 33–40. DOI: <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2020-1-33-40>.

20. Соболев Б. В., Соловьев А. Н., Васильев П. В., Подколзина Л. А. Модель глубокой сверточной нейронной сети в задаче сегментации трещин на изображениях асфальта // *Вестник донского государственного технического университета*. – 2019. – Т. 19. – № 1. – С. 63–73. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73.

21. Канаева И. А., Иванова Ю. А., Спицын В. Г. Сегментация дефектов дорожного покрытия на основе формирования синтетических выборок с помощью глубоких генеративно-состязательных сверточных сетей // *Компьютерная оптика*. – 2021. – Т. 45. – Вып. 6. – С. 907–916. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-844>.

22. Кравцов С. С., Чантиева М. Э. Автоматическое обнаружение дефектов дорожного полотна при помощи сверточных нейронных сетей // *Colloquium-journal*. – 2022. – № 3 (126). – С. 42–47. DOI: 10.24412/2520-6990-2022-3126-42-47.

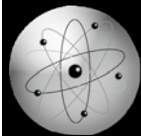
23. Мисюрин И. А., Якимов П. Ю. Обнаружение повреждений дорожного покрытия в видеопотоке автомобильного регистратора // *Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2023): сб. тр. по материалам IX Международ. конф. и молодеж. шк. (г. Самара, 17–23 апр. 2023 г.): в 6 т. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т), Ин-т систем обраб. изобр. РАН – Фил. Федер. науч.-исслед. центра «Кристаллография и фотоника» РАН. – Самара, Изд-во Самар. ун-та, 2023, Т. 4: Искусственный интеллект / под ред. А. В. Никонорова. – 2023. – 040382. [Электронный ресурс]: <http://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/Obnaruzhenie-povrezhdenii-dorozhnogo-pokrytiya-v-videopotoke-avtomobilnogo-videoregistratora-10572>. Доступ: 27.05.2024.*

Информация об авторах:

Рада Артем Олегович – директор института цифры Кемеровского государственного университета, Кемерово, Россия, rada.ao@kemsu.ru

Коньков Николай Юрьевич – начальник отдела разработок института цифры Кемеровского государственного университета, Кемерово, Россия, n.konkov@i-digit.ru.

Статья поступила в редакцию 18.02.2024, актуализирована 27.05.2024, одобрена после рецензирования 31.05.2024, принята к публикации 31.05.2024.



Повышение тягово-сцепных свойств локомотивов путем совершенствования экипажной части



Андрей КОСМОДАМИАНСКИЙ



Владимир ВОРОБЬЁВ



Олег ИЗМЕРОВ



Евгений НИКОЛАЕВ



Дмитрий ШЕВЧЕНКО

Андрей Сергеевич Космодамианский¹, Владимир Иванович Воробьёв²,
Олег Васильевич Измеров³, Евгений Владимирович Николаев⁴, Дмитрий Николаевич Шевченко⁵

^{1, 4, 5} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

^{2, 3} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия.

¹ ORCID 0000-0002-7835-3039; РИНЦ Author ID 353032.

² ORCID 0000-0003-2897-1557; РИНЦ Author ID 1063042.

³ ORCID 0000-0002-8450-6206; РИНЦ Author ID 57193738041.

⁴ РИНЦ Author ID 1189501.

⁵ ORCID 0000-0003-2941-6424; РИНЦ Author ID 941016.

✉ ¹ askosm@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен вопрос повышения тяговых свойств грузовых локомотивов в условиях Восточного полигона. В результате проведенного анализа выявлены конструктивные факторы, влияющие на сцепные свойства локомотивов и предложена расширенная классификация способов улучшения сцепных свойств путем выбора рациональных конструктивных решений экипажной части.

Установлено, что для унифицированных трехосных тележек отечественных грузовых тепловозов к факторам, ведущим к снижению коэффициента сцепления в эксплуатации, относятся значительная длина базы, несбалансированное рессорное подвешивание и недостаточная жесткость опор кузова на тележку при верхнем расположении шкворня, а для тележек электровозов с бесколлекторными тяговыми электродвигателями – жесткая связь ротора двигателя с колесной парой, ведущая к возникновению высоких динамических крутящих моментов. Предложено в качестве мер по модернизации тележек тепловозов применить сбалансированное пневмопружинное рессорное подвешивание и увеличить жесткость резинометаллических опор, а для перспективной унифицированной экипажной части тепловозов и электровозов – отказаться от размещения топливного бака под кузовом и применить двухосные тележки с опорно-рамным тяговым приводом с осевым редуктором, либо с опорно-осевым приводом агрегатного типа, имеющим упругую муфту, амортизирующую динамические нагрузки. Полученные результаты дают основания полагать, что данные меры позволят повысить эксплуатационный коэффициент сцепления с 0,27 до 0,3...0,33.

телями – жесткая связь ротора двигателя с колесной парой, ведущая к возникновению высоких динамических крутящих моментов. Предложено в качестве мер по модернизации тележек тепловозов применить сбалансированное пневмопружинное рессорное подвешивание и увеличить жесткость резинометаллических опор, а для перспективной унифицированной экипажной части тепловозов и электровозов – отказаться от размещения топливного бака под кузовом и применить двухосные тележки с опорно-рамным тяговым приводом с осевым редуктором, либо с опорно-осевым приводом агрегатного типа, имеющим упругую муфту, амортизирующую динамические нагрузки. Полученные результаты дают основания полагать, что данные меры позволят повысить эксплуатационный коэффициент сцепления с 0,27 до 0,3...0,33.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотивная тяга, сцепление колеса с рельсом, экипажная часть, усилители сцепления, тяговый привод локомотива.

Для цитирования: Космодамианский А. С., Воробьёв В. И., Измеров О. В., Николаев Е. В., Шевченко Д. Н. Повышение тягово-сцепных свойств локомотивов путем совершенствования экипажной части // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 47–68. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-6>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Основное требование к локомотивам для Восточного полигона, в который входят Байкало-Амурская и Транссибирская магистрали, – возможность вождения поездов массой 7100 тонн, что возможно «в случае реализации... силы тяги не менее 431 кН» [1] в одной секции, или 862 кН для двухсекционного тепловоза. Близкое к данному показателю тяговое усилие (786 кН) было установлено для тепловоза 2ТЭ137, построенного в 1985 году. Увеличение силы тяги до 862 кН, или на 10 %, предполагает доведение расчетного коэффициента сцепления до 0,29. Однако, согласно [1], «многолетний опыт использования на БАМе тепловозов 2ТЭ25А... с асинхронным тяговым приводом не подтвердил возможности реализации коэффициента тяги 0,29, заложенного в техническом задании на этот локомотив, во всех эксплуатационных условиях данной магистрали при расчетной скорости 18,5 км/ч.» С другой стороны, расчетный коэффициент сцепления 0,29...0,32 ранее был реализован на тепловозах с гидропередачей ТГМЗ и ТГМ4, и в настоящее время – на тепловозах Gravita 10BV фирмы Voith, Австрия и G2000 BV фирмы Vossloh, Германия (0,33). Таким образом, делать вывод о возможности реализации тягового усилия по условиям сцепления только по результатам эксплуатации одного локомотива, без учета его конструктивных особенностей (экипажной части, систем управления, в частности, противобоксовочных) явно преждевременно.

В локомотивах с гидропередачей, где все колесные пары механически связаны между собой, перераспределение крутящего момента по осям во время движения локомотива происходит в соответствии с величиной упругого скольжения колес по рельсам, и, таким образом, каждая из осей при общей силе тяги, близкой к ограничениям по сцеплению, развивает силу тяги, соответствующую максимально возможной для данной оси. В локомотивах с электрическим приводом осей и поосным регулированием, в том числе и с бесколлекторными тяговыми электродвигателями (ТЭД), связь между упругим скольжением и силой тяги оси опосредована системой управления, накладывающей ограничения (точность измерения скольжения, пороговые величины скольжения, при которых срабатывает система, жесткость электромеха-

нических характеристик ТЭД, инерционность системы регулирования, алгоритмы оптимизации скольжения и т.п.).

Таким образом, для локомотивов с бесколлекторными ТЭД остается актуальной проблема выбора решений конструкции экипажной части локомотива, обеспечивающей максимальное использование сцепления колеса с рельсом для всех осей. Предлагаемая статья является попыткой решения указанной проблемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ проблемы

На рис. 1 представлена предложенная авторами классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части. Как видно из классификации, все факторы, которые влияют на коэффициент сцепления и одновременно зависят от конструкции экипажной части, можно разделить на три группы: кинематические, статические и динамические.

Кинематические факторы

К кинематическим факторам отнесены те, которые зависят от скоростей элементов системы «колесо – рельс» при движении в режиме тяги. Это наличие двухточечного контакта колеса с рельсом и поперечной составляющей скольжения колесной пары. Оба фактора проявляются в кривых участках пути, где наблюдается снижение коэффициента сцепления в зависимости от радиуса кривой. Известно, что при трогании с места в кривой снижение силы тяги может составить 40...50 %, однако это объясняется не только двухточечным контактом, но и перераспределением нагрузки по колесам.

Двухточечный контакт колеса с рельсом – это касание колеса гребнем боковой поверхности головки рельса. Поскольку поверхность касания на гребне лежит на радиусе колеса, большем, чем поверхность катания, это увеличивает проскальзывание колес и, соответственно, снижает предел тяги по сцеплению (на практике – при прохождении кривых участков пути). Данная проблема частично решается снижением трения между гребнем колеса и поверхностью рельса с помощью смазки, а также путем попыток изменения профиля колес. Целью указанных мероприятий является снижение износа поверхностей колеса и рельса, при этом в вопросе об изменении профиля колеса в статье И. Пухова

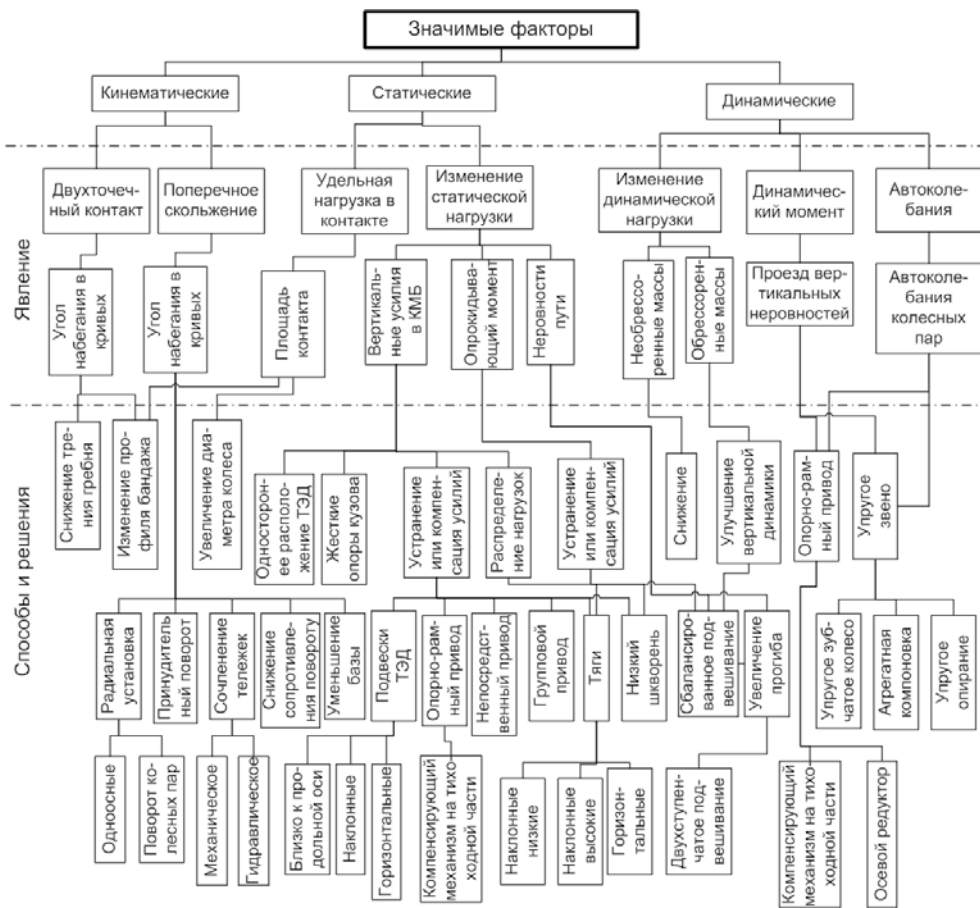


Рис. 1. Классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части, предлагаемая авторами статьи.

«Между колесом и рельсом. Профиль колеса влияет на его износ»¹ констатирован «кризис идей», хотя возможность комплексного решения данной проблемы не отрицается. Не углубляясь в сложность данной проблемы, можно сделать вывод, что при проектировании экипажной части влияние на данный фактор будет в основном заключаться в том, чтобы предусмотреть возможность размещения устройств смазывания гребней, и это обычно не вызывает трудностей. Снижение вероятности касания колеса гребнем в кривых напрямую зависит от угла набегания колеса на рельс, что будет рассмотрено ниже.

По данным [2], существенное снижение коэффициента сцепления для электровозов наблюдается в кривых менее 500 м и для тепловозов – в кривых менее 800 м. Данное различие указывает на влияние угла набегания колеса на рельс, поскольку база двухос-

ной тележки грузовых электровозов составляет около 3,0 м, а трехосных тележек грузовых тепловозов – 3,7...4,4 м. Известно, что на Восточном полигоне кривые радиусом менее 650 м составляют 40 %, а менее 350 м – 56 % от общесетевых значений [3]. Это означает необходимость ужесточения требований к локомотивам для Восточного полигона по улучшению горизонтальной динамики экипажа в кривых с учетом не только соблюдения допустимых уровней воздействия на путь, но и максимальной реализации сцепных свойств локомотива.

Снижение угла набегания колеса на рельс в кривых относится к мероприятиям по снижению воздействия на путь в кривых и реализуется следующими способами:

- уменьшением базы тележки;
- снижением сопротивления повороту тележки;
- сочленением тележек;
- применением механизма радиальной установки колесных пар в кривых;

¹ Пухов И. Между колесом и рельсом. Профиль колеса влияет на его износ // «Гудок». – Выпуск № 207 (26346) 22.11.2017.



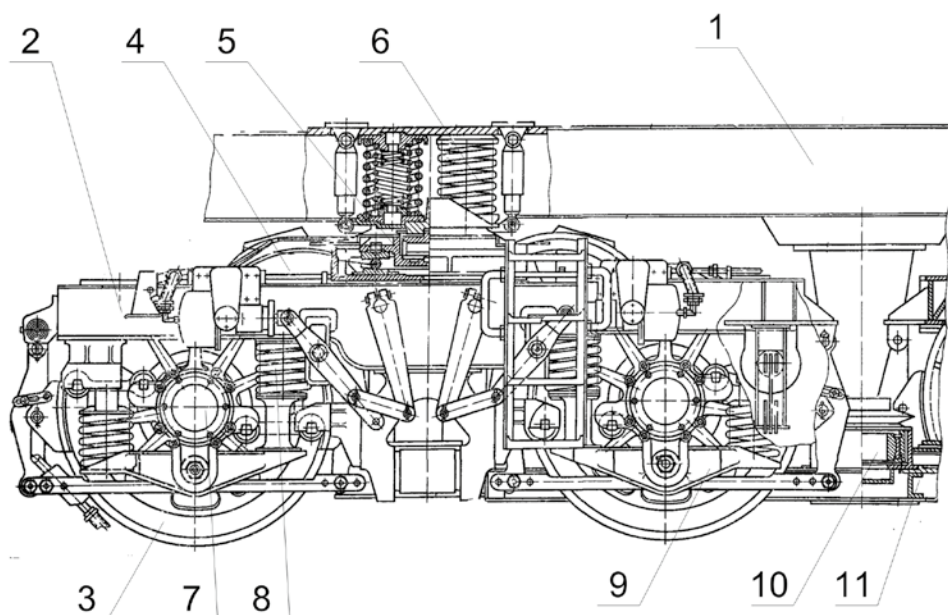


Рис. 2. Тележка тепловоза ТЭ136: 1 – рама кузова; 2 – рама тележки; 3 – колесная пара; 4 – ТЭД; 5 – опорно-возвращающие устройства; 6 – вторая ступень рессорного подвешивания; 7 – бусса; 8 – буссовая ступень рессорного подвешивания; 9 – балансир; 10 – шкворневой узел; 11 – низкорасположенная рама [9].

- принудительным поворотом тележек колесных пар.

Уменьшение базы тележки достигается как уменьшением расстояния между осями, так и применением тележек с меньшим числом осей. База двухосных тележек отечественных грузовых электровозов составляет 2900...3000 мм, у зарубежных электровозов она меньше – 2600...2900 мм. Величина базы двухосной тележки ограничивается двумя факторами: условиями компоновки (в первую очередь – возможностью размещения ТЭД) и устойчивостью движения в прямых участках пути. Минимальная база двухосных тележек построенных отечественных локомотивов с конструкционной скоростью 100 км/ч при диаметре колеса 1250 мм – 2250 мм (тепловоз ТЭ136), при диаметре колеса 1050 мм – 2100 мм (тепловоз ТЭМ7).

Как видно из рис. 2, на тележке тепловоза 2ТЭ136 использовано встречное расположение шестиполусных коллекторных ТЭД, имеющих значительный диаметр. Уменьшение базы при данных условиях было достигнуто за счет того, что тележка соединена шкворнем с низко расположенной промежуточной рамой, а ТЭД опираются на шкворневую балку сверху. Такая компактная компоновка может быть достигнута при применении горизонтальных или наклонных тяг для передачи усилия на кузов.

Снижение сопротивления повороту тележек облегчает переход по мере увеличения скорости движения от установки наибольшего перекаса к динамической установке, что сопровождается уменьшением угла набега. Оно достигается за счет применения мер повышения стабильности движения тележки в прямых участках пути (введение поперечных зазоров в шкворне, замена фрикционных гасителей поперечных колебаний тележки гидравлическими).

Сочленение тележек приводит к тому, что передняя по ходу локомотива тележка, поворачивая при входе в кривую, поворачивает заднюю тележку в противоположную сторону, снижая тем самым угол набегания колеса направляющей колесной пары задней тележки. При этом жесткое механическое сочленение тележек, применявшееся на первых отечественных электровозах (например, ВЛ8), приводит к ухудшению горизонтальной динамики экипажа в прямых участках пути, из-за повышения склонности к вилянию. Применение в опытном порядке упругого сочленения тележек на тепловозе ТЭ7 и электровозе ВЛ80 [4] показало, что на тепловозе ТЭ3 сочленение дает значительный эффект при движении в кривой радиуса 300 метров (снижение квазистатической составляющей рамных сил на 58 % при скорости 10 км/ч и установке наибольшего перекаса); в кри-

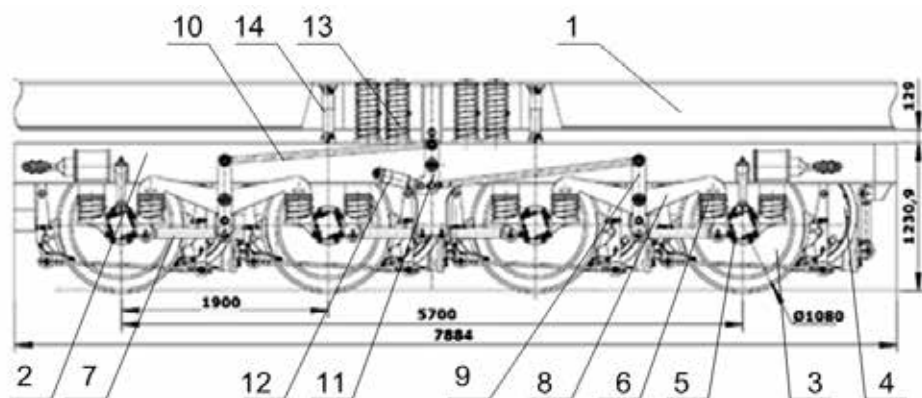


Рис. 3. Четырехосная тележка с РУКП: 1 – главная рама; 2 – рама тележки; 3 – колесная пара; 4 – ТЭД; 5 – букса; 6 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 7 – буксовый поводок; 8 – баланси́р; 9, 11 – рычаги; 10 – тяга; 12, 14 – гасители; 13 – вторая ступень рессорного подвешивания [7].

вой радиуса 600 метров сочленение не обеспечивает существенного снижения квазистатической составляющей рамных сил, а наибольшее снижение квазистатической составляющей было получено при гидравлическом сочленении тележек. При этом максимальные рамные силы остались на том же уровне из-за увеличения динамической составляющей. На электровозе ВЛ80 механическое сочленение тележек также показало снижение квазистатической составляющей рамных сил и увеличение динамической. Был сделан вывод, что сочленение тележек может быть использовано для локомотивов с повышенной нагрузкой на ось. Позднее гидросочленение тележек в опытном порядке было применено на тепловозе 2ТЭ121 [5]. В результате исследований было установлено, что гидросочленение работает удовлетворительно только при фиксированном в поперечном направлении шкворне, в связи с чем для серийного варианта были рекомендованы другие способы связи тележки с кузовом.

Радиальная установка колесных пар (РУКП) применена на трехосной тележке АО «ВНИКТИ», установленной на отечественном тепловозе 2ТЭ25а. Исследования методом моделирования, проведенные в БГТУ [6], показали, что благодаря РУКП «в кривой радиусом 600 м работа сил трения на гребне меньше в 2,8...2,14 раза, а на поверхности катания – в 3,2...2,9 раза. Аналогичные результаты получены и по суммарной работе сил трения в кривых радиусами 300, 600 и 1000 м». Это однозначно указывает на возможность улучшения сцепных свойств по сравнению с тележками с той же базой. За рубежом фирмами «General Motors»

и «General Electric» в 1993–95 годах были созданы трехосные тележки с РУКП: тележка НТСР для локомотивов серии SD70 (GM) и тележка для локомотивов серии AC4400CW и более поздних версий Evolution (GE).

АО «ВНИКТИ» также была разработана четырехосная тележка с РУКП (рис. 3), которую предполагалось применить на проектируемом тепловозе 2ТЭ35а АО «Синара» для Восточного полигона. По данным АО «ВНИКТИ»², воздействие на путь такой тележки в кривых должно соответствовать воздействию трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116.

Частным случаем тележки с радиальной установкой колесных пар может служить четырехосная тележка с прицепными осями. Как указано в [4], передняя по ходу движения колесная пара в таких тележках может иметь даже отрицательный угол набегания, однако для этого требуется, чтобы характеристики возвращающих устройств менялись в зависимости от радиуса кривой и непогашенной центробежной силы, что требует делать их управляемыми. В связи с этим в [4] в качестве предпочтительной конструкции указаны трехосные тележки с промежуточной рамой.

Примером практической реализации экипажной части с принудительным поворотом осей может служить дизель-поезд Integral компании Jenbacher (Австрия) с одноосными тележками. Данная конструкция дальнейшего распространения не получила. В отечественной практике проводились работы по созданию

² Лунин А. А., Спиров А. В. О направлениях развития подвижного состава. Презентация АО ВНИКТИ 30.08.2019. [Электронный ресурс]: https://www.railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ_3_30_августа/ЗАЛ_2/10-00_6-й_международный_форум/Сессия_1/1.7_А_Лунин_А_Спиров_RU.pdf. Доступ 27.12.2023.



систем принудительного поворота тележек тепловозов промышленного транспорта в кривых, однако говорить о возможности использования таких систем на магистральных тепловозах пока преждевременно.

Из анализа кинематических факторов следует, что наиболее простым в техническом отношении путем снижения поперечного скольжения в кривых и одновременно уменьшения вероятности возникновения двухточечного контакта является максимальное сокращение базы тележек, то есть, применение двухосных тележек с базой 2250...2600 мм.

Статические факторы

К статическим факторам в классификации отнесены те, которые определяются усилиями взаимодействия колеса и рельса и которые мало изменяются за период времени, соответствующий периоду собственных вертикальных и горизонтальных колебаний экипажа в движении.

Прежде всего, к статическим факторам относится удельная нагрузка в контакте которая зависит от площади контакта и которую можно менять двумя путями: увеличением диаметра колеса и изменением профиля бандажа. О проблематичности поиска рационального профиля бандажа уже было сказано выше. Что же касается изменения диаметра бандажа, то, по данным ВНИИЖТ [2], прогнозируется, что увеличение диаметра колеса с 1050 до 1250 мм приведет к увеличению коэффициента сцепления на 4 %, со ссылкой на исследования К. Крафта [7]. Вывод К. Крафта в условиях отечественных железных дорог не проверялся; косвенно в его пользу свидетельствует более высокий среднестатистический коэффициент сцепления электровозов, имеющих колеса диаметром 1250 мм, по сравнению с тепловозами с колесами 1050 мм (что также объясняется меньшей вероятностью загрязнения пути нефтепродуктами и меньшей базой тележек), а также более высокими сцепными свойствами тепловоза 2ТЭ121, имеющего колеса 1250 мм. Кроме того, доводом в пользу применения на локомотивах с повышенной силой тяги на одну ось колес диаметра 1250 мм является то, что при бандажных колесах это повышает надежность посадки бандажа на колесный центр (на тепловозах США с диаметром колес 1050 мм применяются безбандажные колеса).

Более определенным статическим фактором является изменение статической нагрузки на ось при движении локомотива в режиме тяги. Перераспределение нагрузки по осям может происходить по следующим причинам:

- наличие вертикальных составляющих усилий в колесно-моторных блоках в режиме тяги;
- наличие опрокидывающего момента вследствие того, что передача силы тяги сцепными устройствами производится выше уровня головки рельса;
- прохождение вертикальных неровностей пути.

Отдельно следует упомянуть высказанную в [2] гипотезу о влиянии неравномерного распределения нагрузок по колесам колесной пары при односторонней тяговой передаче. Как показали результаты исследований, не вошедшие в [8], при движении локомотива в режиме выбега в оси колесной пары существуют касательные напряжения, вызванные крутящим моментом, меняющимся случайным образом в зависимости от положения колесной пары в прямой, причиной которого является разница в диаметрах колес, соответствующих точкам касания колеса и бандажа. Ввиду коничности профиля бандажей колес эта разница меняется в зависимости от положения колеса в прямой. В режиме тяги, по мере приближения к предельному усилию по сцеплению, величина касательных напряжений становится постоянной, что противоречит гипотезе [2], поскольку в противном случае усилие менялось бы случайным образом вследствие случайного изменения тангенциальной жесткости контакта колеса и рельса.

Снижение вертикальных усилий может быть достигнуто следующими способами:

- исключением поворота рамы тележки в вертикальной плоскости за счет применения жестких опор кузова на тележку;
- односторонним расположением ТЭД в трехосных тележках, что ведет к встречной направленности усилий, приложенных к раме тележки через подвески ТЭД, расположенные по разные стороны от оси поворота в вертикальной плоскости;
- компенсацией усилий в двухосных тележках за счет расположения точек подвешивания ТЭД к центру поворота;
- применением тяговых приводов, не создающих некомпенсированных усилий реакции в вертикальной плоскости;

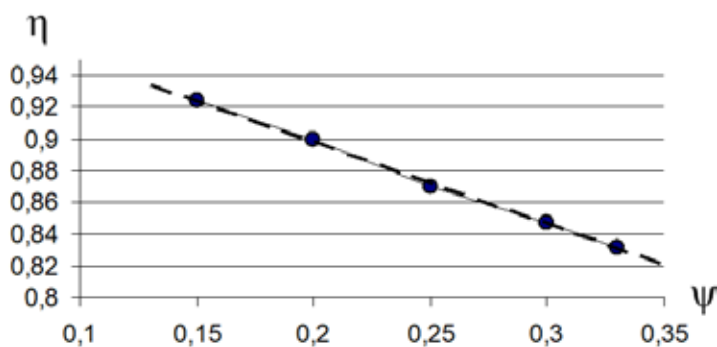


Рис. 4. Изменение коэффициента использования сцепного веса η от коэффициента тяги ψ для тележки тепловоза 2ТЭ116, штатный вариант [9].

– компенсацией вертикальных усилий за счет уменьшения расстояния между точкой передачи усилия с тележки на кузов и уровнем головки рельс, что также может использоваться для компенсации опрокидывающего момента.

Как показали исследования [9], коэффициент использования сцепного веса для трехосной тележки тепловоза 2ТЭ116 в диапазоне изменения коэффициента тяги от 0,15 до 0,33 меняется практически линейно (рис. 4).

Согласно расчетам [9], для штатного варианта тележки тепловоза 2ТЭ116 при $\psi = 0,33$ величина $\eta = 0,832$. Изменение конструкции тележки дало следующие результаты:

– уменьшение статического прогиба опор тележки с 20 мм до нуля (установка жестких опор) увеличивает η с 0,832 до 0,869 за счет исключения поворота рамы тележки в вертикальной плоскости;

– применение сбалансированного рессорного подвешивания в совокупности с жесткими опорами увеличивает η с 0,832 до 0,922 за счет равномерного распределения нагрузок по осям тележки;

– применение опорно-рамного привода с передаточным механизмом на быстроходной части передачи, исключающего вертикальную составляющую усилий от тягового привода, но при несбалансированном рессорном подвешивании, увеличивает η с 0,832 до 0,902, то есть, увеличивает η по сравнению с опорно-осевым приводом с 0,869 до 0,902; при использовании опорно-рамного привода с осевым редуктором из-за вертикальных усилий в реактивных тягах η при трехосной тележке ухудшается до 0,848.

Также была подтверждена необходимость применения на трехосной тележке односто-

ронного расположения ТЭД (встречное расположение снижало η с 0,832 до 0,79 даже при жестких опорах).

Таким образом, для многоосной тележки в жесткой раме целесообразно применение сбалансированного рессорного подвешивания, в том числе и по причине неравномерной нагрузки осей, что также констатируется в [9]. При этом сбалансированное подвешивание в буксовой ступени по своим динамическим качествам равноценно несбалансированному с большей величиной статического прогиба, поскольку изменение нагрузки на ось при проезде вертикальной неровности перераспределяется по другим осям тележки. На практике это позволяет отказаться от второй ступени подвешивания, по крайней мере, для локомотивов с конструкционной скоростью до 120 км/ч. Фактически сбалансированное одноступенчатое подвешивание применялось и на пассажирском тепловозе ТЭП60 со скоростью до 160 км/ч, поскольку кузов опирался на тележку через маятниковые опоры с резиновыми конусами, имевшими незначительный статический прогиб, а пружины между тележкой и кузовом участвовали только в процессе боковой качки.

Также для многоосной тележки в жесткой раме коэффициент использования сцепного веса может быть повышен за счет использования опорно-рамных тяговых приводов с компенсирующим механизмом на тихоходной части привода (что было реализовано на опытном тепловозе ТЭ120), а также непосредственного тягового привода, в частности, опорно-осевого при горизонтальном расположении реактивной тяги, передающей усилия со статора на тележку. При этом наличие механизма радиальной установки колесных



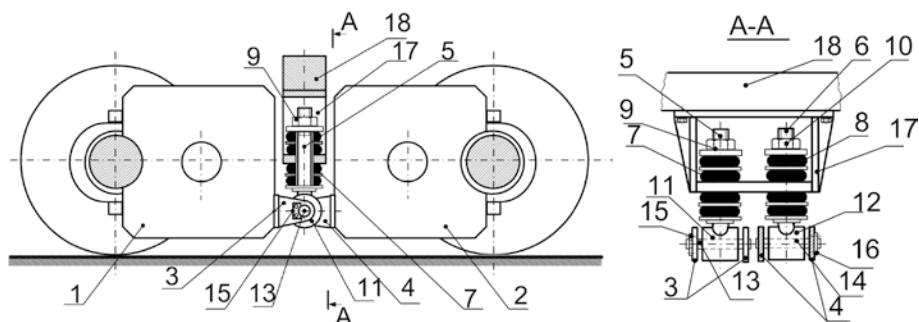


Рис. 5. Расположение подвесок ТЭД на оси, проходящей через центр тяжести тележки. 1, 2 – ТЭД; 3, 4 – кронштейны; 5, 6 – тяги; 7, 8 – резиновые шайбы; 9, 10 – гайки; 11, 12 – шарниры; 13, 14 – валики; 15, 16 – планки; 17 – траверса; 18 – рама тележки [10].

пар затрудняет возможности реализации опорно-рамного привода из-за появления перемещений крайних колесных пар в горизонтальной плоскости, а применение непосредственного опорно-осевого привода требует упругого опирания ТЭД на ось или колесные центры для снижения неподрессоренной массы.

Для двухосных тележек, как правило, используется встречное расположение ТЭД, позволяющее снизить момент инерции тележки в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В этом случае основным способом увеличения коэффициента использования сцепного веса является компенсация вертикальных усилий и опрокидывающего момента за счет снижения уровня точки приложения силы тяги, передаваемой с тележки на кузов с помощью низко расположенного шкворня (в том числе и низко расположенной промежуточной рамы), либо горизонтальных или наклонных тяг.

Применение наклонных тяг, направление которых проходит через середину продольной базы тележки на уровне головок рельсов, позволяет полностью компенсировать тяговые изменения нагрузки по колесным парам в одной тележке и обеспечить величину коэффициента использования сцепного веса $\eta > 0,92$ при мягком двухступенчатом рессорном подвешивании, что обуславливает широкое применение наклонных тяг в качестве устройств передачи силы тяги с тележки на кузов в современных локомотивах. В меньшей степени компенсируют снижение силы тяги низко расположенные шкворни.

В современных конструкциях локомотивов применяются наклонные тяги, действующие на сжатие и растяжение. Тяги, действующие только на растяжение, в новых локомотивах не используются, как и горизонтальные

тяги. При этом наклонные тяги направлены в сторону ближайшего автосцепного устройства, вследствие чего передняя по ходу тележка локомотива догружается вертикальной составляющей силы реакции со стороны тяги, а задняя – разгружается, и это компенсирует потележечное изменение нагрузки от действия опрокидывающего момента, вызванного усилением тяги, прилагаемой на уровне автосцепного устройства.

Для двухосных тележек маневровых локомотивов, имеющих одноступенчатое рессорное подвешивание, одной из мер снижения неравномерности распределения осевой нагрузки может быть расположение подвесок ТЭД на оси, проходящей через центр тяжести тележки. Предложенный авторами вариант подобного устройства показан на рис. 5.

При поперечном и угловом перемещении ТЭД 1 и 2 тяги 5 и 6 подвесок наклоняются благодаря подвижности шарниров 11 и 12 и наборов резиновых шайб 7 и 8. При реализации силы тяги в вертикально расположенных тягах 5 и 6 возникают встречно направленные усилия, которые передаются на траверсу 9. Поскольку шарниры 11 и 12 расположены на одной оси, то усилия в тягах 5 и 6 направлены в противоположных направлениях и приложены к одной и той же траверсе 9, вследствие чего указанные усилия взаимно компенсируют друг друга и не создают перераспределения нагрузок по осям. На предложенную конструкцию авторами получен патент на полезную модель [10].

Для маневровых тепловозов с асинхронными ТЭД и жесткими зубчатыми передачами (например, ТЭМ23) авторами предложена конструкция, в которой подвески, включающие в себя шарниры и плоские амортизаторы, гасящие удары при прохождении неровностей пути, крепятся к корытообразной траверсе

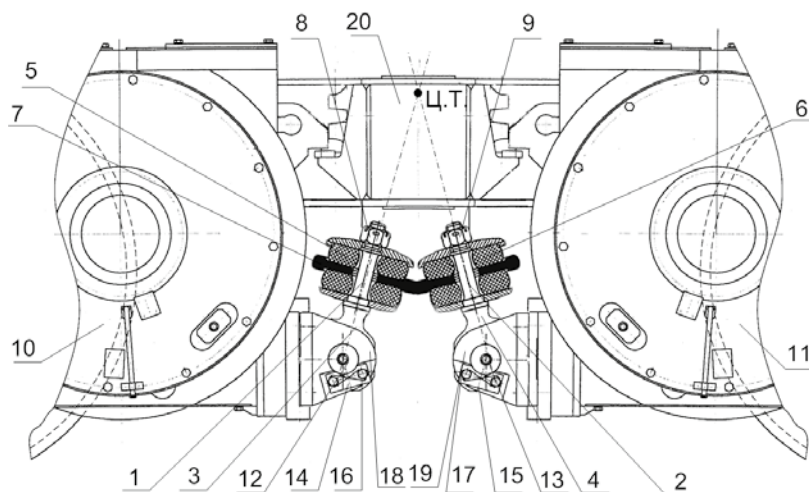


Рис. 6. Устройство для крепления ТЭД локомотива к раме тележки: 1, 2 – подвески; 3, 4 – шарниры; 5, 6 – наборы плоских упругих элементов; 7 – траверса; 8, 9 – гайки; 10, 11 – тяговые электродвигатели; 12, 13 – валики; 14, 15 – стопорные планки; 16, 17 – болты; 18, 19 – кронштейны; 20 – центр тяжести тележки [11].

(рис. 6). На данную конструкцию также получен патент на полезную модель [11].

При несбалансированном рессорном подвешивании проезд коротких неровностей без учета колебаний наддресорного строения может рассматриваться как квазистатический процесс, приводящий к перераспределению нагрузок по осям. Снижение влияния данного фактора может быть достигнуто с помощью упомянутого выше сбалансированного рессорного подвешивания либо увеличением общего статического прогиба рессорного подвешивания.

Следует отметить, что оба пути (одноступенчатое сбалансированное рессорное подвешивание и двухступенчатое с передачей тягового усилия наклонной тягой) позволяют реализовать примерно одинаковые значения η . Так, у тележки тепловоза ТЭМ21 с наклонной тягой и двухступенчатым подвешиванием $\eta = 0,921$, у тележки тепловоза 2ТЭ121 со сбалансированным одноступенчатым рессорным подвешиванием $\eta = 0,92$.

Отдельным вопросом является целесообразность применения группового привода для электровозов и тепловозов с электропередачей. С одной стороны, механическое сочленение осей компенсирует неравномерность распределения сцепных свойств в пределах тележки, что упрощает регулирование силы тяги. С другой стороны, такой привод требует увеличения мощности применяемых ТЭД и усложнения ремонта экипажной части. В связи с этими обстоятельствами применение группового привода в ближайшей перспективе

имеет смысл в первую очередь для промышленных локомотивов, имеющих меньшую мощность ТЭД, в связи с чем в данной статье влияние группового привода на повышение коэффициента сцепления не рассматривается.

Динамические факторы

К динамическим факторам в данной классификации отнесены те, которые определяются не только геометрическими размерами, статическими усилиями и величинами перемещения элементов конструкции, но также и массой элементов и упруго-диссипативными свойствами связей между ними. Динамические факторы разделены на группы, соответствующие явлениям, выступающим в качестве причины их проявления:

- наличие динамической (переменной) составляющей осевой нагрузки при движении по неровностям пути;
- наличие динамической составляющей крутящего момента в валопроводах тягового привода;

- развитие фрикционных автоколебаний при скольжении колесной пары по рельсам.

Динамическая составляющая осевой нагрузки, в свою очередь, складывается из динамических усилий при колебании необрессоренных и обрессоренных масс.

Влияние колебаний необрессоренных масс на сцепные свойства рассмотрим на примере проезда колесной парой стыковой неровности (рис. 7).

После проезда колесной парой угла перелома в стыке (рис. 7 а) вертикальная состав-



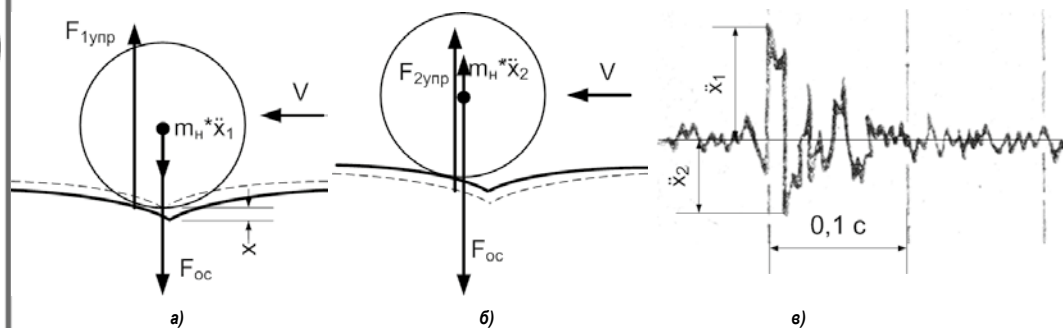


Рис. 7. Изменения осевой нагрузки при колебаниях неподрессоренных масс:
а) деформация стыка сразу после проезда колеса; б) возвращение в исходное положение; в) примерный график ускорений неподрессоренной массы [автор схемы Измеров О. В.].

ляющая скорости неподрессоренной массы мгновенно изменяется, и кинетическая энергия неподрессоренной массы должна быть погашена за счет превращения в потенциальную энергию деформации верхнего строения пути на величину x и тепловую энергию за счет трения в верхнем строении пути при указанной динамической деформации. При этом возникает ускорение колесной пары \ddot{x}_1 , направленное вверх, в результате чего максимальное общее усилие нагрузки колесной пары на рельсы составит (при представлении нагрузки поддрессоренных масс, как квазистатической):

$$F_{\text{сум1}} = m_o g + m_n (g + \ddot{x}_1) = F_{\text{oc}} + m_n \ddot{x}_1, \quad (1)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

m_o – величина поддрессоренной массы, приходящейся на одну ось;

m_n – величина неподрессоренной массы, приходящейся на одну ось;

\ddot{x}_1 – максимальное ускорение при ударе (рис. 7 в);

F_{oc} – статическая нагрузка на ось.

После погашения вертикальной составляющей скорости колесной пары верхнее строение пути под действием сил упругости стремится вернуться в первоначальное положение, сообщая колесной паре вертикальную скорость, направленную вверх, и потенциальная энергия деформированного верхнего строения превращается в кинетическую энергию неподрессоренной массы. После возвращения верхнего строения пути в положение, соответствующее деформации при статической нагрузке, движение колесной пары вверх замедляется за счет действия осевой нагрузки (рис. 7 б), и усилие нагрузки колесной пары на рельс составит:

$$F_{\text{сум2}} = m_o g + m_n (g - \ddot{x}_2) = F_{\text{oc}} - m_n \ddot{x}_2, \quad (2)$$

где \ddot{x}_2 – максимальное ускорение при отрицательном полупериоде колебаний неподрессоренных масс после удара (рис. 7 в).

Таким образом, происходит динамическая разгрузка колесной пары на величину $m_n \cdot \ddot{x}_2$. За счет рассеяния энергии при деформации верхнего строения пути $\ddot{x}_2 < \ddot{x}_1$. Исследования величин \ddot{x}_2 к настоящему времени не производились, но можно утверждать, что \ddot{x}_2 в среднем будет пропорциональна \ddot{x}_1 , и ее величина для отдельно взятой стыковой неровности будет зависеть от нелинейности жесткостной характеристики верхнего строения пути, степени рассеяния энергии колебаний необдрессоренных масс и наличия других форм колебаний необдрессоренных масс. В первом приближении можно принять, что $\ddot{x}_2 = 0,75 \cdot \ddot{x}_1$. Таким образом, для тепловоза 2ТЭ25а при $\ddot{x}_1 = 50 \text{ м/с}^2$, $m_n = 3900 \text{ кг}$ и $F_{\text{oc}} = 245 \text{ кН}$ получим минимальную величину динамической нагрузки на ось около 100 кН или снижение до 0,41 от средней величины.

Однако, переходя к влиянию динамической разгрузки оси на сцепные свойства локомотива, необходимо учитывать также время действия разгрузки и инерцию вращения колесной пары при потере сцепления, поскольку частота колебаний неподрессоренных масс по низшей форме при опорно-осевом приводе для разных локомотивов обычно находится в диапазоне 20...40 Гц. Данный вопрос в настоящее время практически не изучен, поэтому можно ограничиться выводом о целесообразности снижения доли неподрессоренной массы в общей массе локомотива, что, в первую очередь, достигается применением опорно-рамного привода.

Нагрузку на ось при ее изменении вследствие колебаний поддрессоренных масс, происходящих с частотой 1,5...2,5 Гц (кузова)

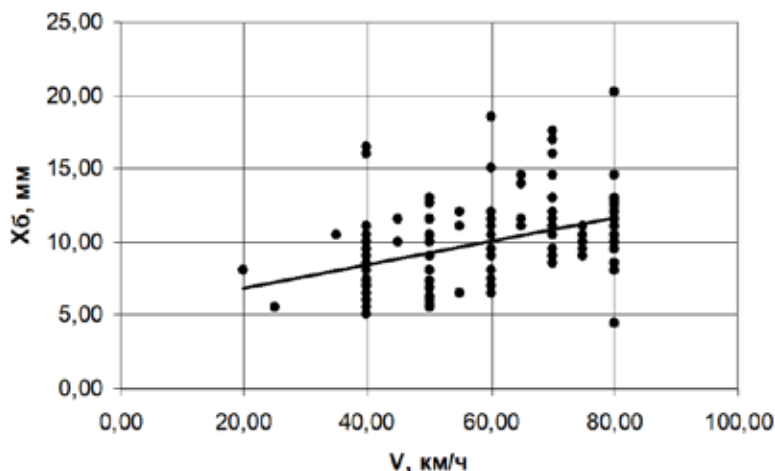


Рис. 8. Максимальные вертикальные перемещения буксы относительно рамы тележки тепловоза 2ТЭ121–011, участок Воркута – Сосногорск [по данным, полученным Измеровым О. В.].

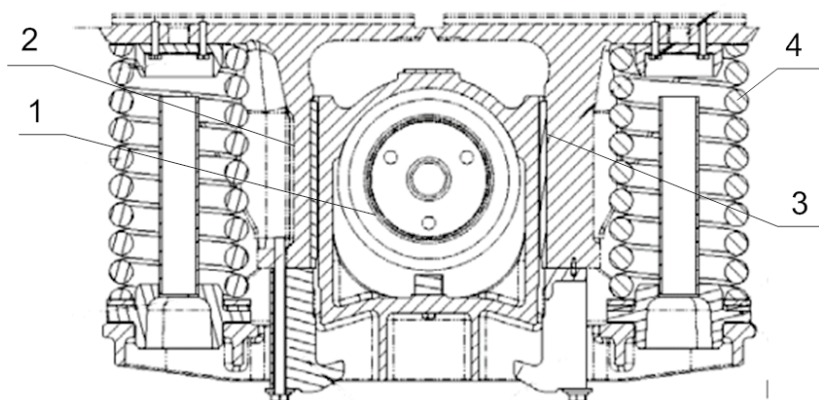


Рис. 9. Челюстная букса тепловоза ТЭ33а: 1 – букса; 2 – челюсти; 3 – наличник; 4 – пружина буксового подвешивания [30].

и 4...6 Гц (тележки), по отношению к динамическим процессам в тяговом приводе при скольжении колеса по рельсу можно считать квазистатической. Таким образом, изменение нагрузки на ось можно оценить, разделив амплитуду вертикального перемещения буксы относительно рамы тележки при движении локомотива на величину статического прогиба буксовой ступени. Так, для тепловоза 2ТЭ121 при испытаниях на участке Воркута – Сосногорск среднемаксимальные амплитуды вертикальных перемещений буксы при скорости 27 км/ч составляли 7,5 мм (рис. 8) при статическом прогибе буксовой ступени 130 мм; соответственно, нагрузка на ось может снижаться до 0,942 от средней величины. Уменьшить влияние вертикальных колебаний возможно за счет улучшения вертикальной динамики экипажа (применение сбалансированного рессорного

подвешивания, увеличение статического прогиба).

Также при колебаниях обрессоренных масс тележки на сцепление колеса с рельсом может оказывать влияние трение в челюстных буксах. Согласно [2], скорости скольжения движущих осей у локомотива с челюстными буксами на 5 % выше, чем с бесчелюстными. Челюстные буксы продолжают применяться на тепловозах производства США, в частности, на тепловозе ТЭ33а, эксплуатируемом в некоторых странах ближнего зарубежья (рис. 9). Влияние трения во фрикционных гасителях колебаний первой ступени рессорного подвешивания, широко применяющихся на отечественных тепловозах, в настоящее время не исследовано, однако следует принять во внимание, что в гасителях колебаний, в отличие от челюстных букс сила трения не увеличивается пропорционально силе тяги.



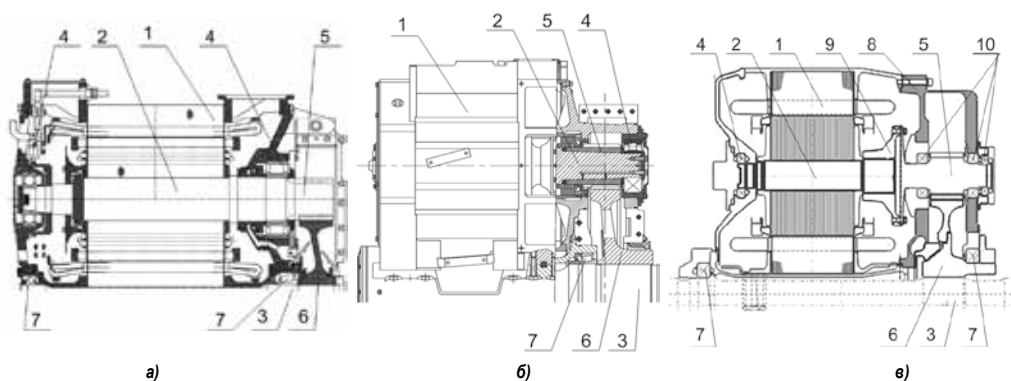


Рис. 10. Опорно-осевой привод с жесткой зубчатой передачей: а) тепловоз ТЭЗ3а; б) электровоз БКГ-1; в) электровоз ЭВ-120; 1 – ТЭД; 2 – вал ТЭД; 3 – ось колесной пары; 4 – роторный подшипник; 5 – малое зубчатое колесо; 6 – большое зубчатое колесо; 7 – осевой подшипник; 8 – корпус редуктора; 9 – мембранная муфта; 10 – подшипники редуктора [29].

Известно, что динамическая составляющая крутящего момента в тяговом приводе, возникающая при проезде вертикальных неровностей пути и вследствие колебаний наддрессорного строения, оказывает значительное влияние на сцепные свойства локомотива. Так, было установлено, что на тепловозе 2ТЭ10Л, имеющем опорно-осевой привод с жесткой зубчатой передачей, при проезде участков пути с волнообразным износом наблюдалось снижение коэффициента сцепления на 20 % и более [2]. Более того, в [12] динамический крутящий момент при жесткой зубчатой передаче рассматривается как причина волнообразного износа рельсов. Исследования [4] показали, что при жесткой зубчатой передаче тепловоза 2ТЭ10Л динамический момент на валу тягового электродвигателя (ТЭД) достигал 9,4 кНм. При такой величине момента и наличии сцепления колеса с рельсом осевая сила тяги должна была бы составить 82 кН, а $\eta = 0,39$, что указывает на возможность проскальзывания колеса по рельсу, когда сопротивление динамическому моменту создается как силой трения скольжения, так и инерцией вращающихся масс колеса.

Как указано в [12], применение упругого колеса в опорно-осевом тяговом приводе грузовых тепловозов, приведя к снижению динамического момента примерно втрое, уменьшило склонность к боксованию и на 15 % снизило интенсивность износа бандажей. В результате к 80-м годам прошлого века передача с упругим звеном была внедрена на всех магистральных грузовых тепловозах с опорно-осевым приводом, и было создано упругое зубчатое колесо (УЗК) для

применения в двусторонней тяговой передаче отечественных грузовых электровозов. С другой стороны, использование бесколлекторных ТЭД на зарубежных грузовых локомотивах в настоящее время привело к возврату к жесткой зубчатой передаче (рис. 10).

Выбор конструктивных решений в приводах, показанных на рис. 10, обусловлен стремлением уменьшить диаметр малого зубчатого колеса передачи, для повышения передаточного числа в одноступенчатой передаче и повышения максимального числа оборотов ТЭД, что, в свою очередь, позволяет снизить неподдрессоренную массу. В приводе тепловоза ТЭЗ3а (ES44ACi, разработка компании General Electric, США) для уменьшения диаметра малого зубчатого колеса зубья нарезаны на самом валу ТЭД (рис. 10а), что требует изготовления вала из высоколегированной стали и разборки ТЭД с распрессовкой пакета стали ротора в случае износа вала-шестерни, либо восстановления зубьев путем наплавки. В приводе электровоза БКГ-1 (разработка Датунского завода, КНР, совместно с компанией Alstom, Франция, на основе электровоза Alstom Prima 47000) малое зубчатое колесо посажено на вал ТЭД с натягом, но из-за малого диаметра зубчатого колеса для увеличения ступицы колесо пришлось разместить между роторными подшипниками (рис. 10б). В приводе электровоза ЭВ-120 (разработка фирмы Bombardier, Канада) для увеличения срока службы подшипников вал ротора одним концом опирается на вал-шестерню осевого редуктора (рис. 10в). При этом тяговая передача для снижения ударов в зацеплении во всех случаях выполнена с небольшим наклоном зубьев, вследствие

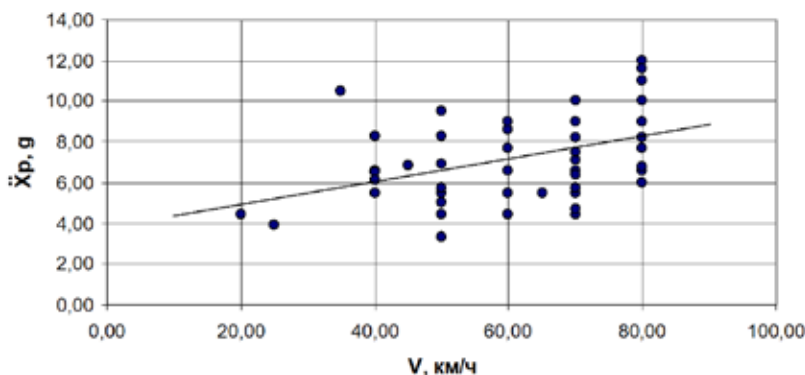


Рис. 11. Максимальные вертикальные ускорения осевого редуктора тепловоза 2ТЭ121–011, участок Воркута-Сосногорск [по данным, полученным Измеровым О. В.].

чего в ней возникают поперечные усилия, затрудняющие создание УЗК. Другим фактором, затрудняющим применение УЗК, стало уменьшение модуля тяговой передачи до 8...9 мм, что увеличивает влияние радиального зазора в соединении венца со ступицей на долговечность передачи.

Расчет динамических моментов, действующих в тяговом приводе с жесткой зубчатой передачей, затруднен вследствие сложности расчета виброударных нагрузок при перекладке зубьев и отсутствия точных данных о ряде параметров (например, о контактной жесткости зубьев при наличии смазки на поверхности) и учета проскальзывания колеса по рельсу. В связи с этим попробуем приблизительно оценить величину динамического момента в приводе тепловоза ТЭ33а при условии беззазорного зацепления и сохранении сцепления колесной пары с рельсом.

На основании [11] зависимость динамического момента на валу тягового электродвигателя ТЭД колес колесной пары от вертикальных ускорений оси колесной пары можно определить следующим образом:

$$M_d = \frac{I_p(i+1)}{c} \ddot{x}_{кл}, \quad (3)$$

где $\ddot{x}_{кл}$ – вертикальные ускорения оси колесной пары, м/сек²;

$c = 0,85$ м – расстояние между точкой подвеса к раме (точкой поворота КМБ при прохождении вертикальных неровностей) и осью колесной пары;

I_p – момент инерции ротора ТЭД; $i = 5,3125$ – передаточное число (85:16).

Вертикальное ускорение ТЭД над осью колесной пары определим на основе информации об ускорениях колесной пары привода-аналога:

$$\ddot{x}_{кл} = \ddot{x}_{кпа} \sqrt{\frac{m_{на}}{m_{н}}}, \quad (4)$$

где $\ddot{x}_{кпа}$ – среднемаксимальные значения вертикальных ускорений колесной пары локомотива-аналога при скорости движения на руководящем подъеме.

В качестве аналога примем тепловоз 2ТЭ121 (рис. 11), а скорость движения на руководящем подъеме примем равной 30 км/ч (что допустимо, так как расчет делается с целью проанализировать прежде всего качественную сторону явления), тогда из рис. 10 $\ddot{x}_{кпа} = 55$ м/с². $m_{на} = 4200$ кг – величина неподдрессоренной массы аналога, приходящаяся на одну ось. Что касается неподдрессоренной массы тепловоза ТЭ33а, исходим из того, что масса ТЭД 5ГЕВ30А1 ТМ равна 2268 кг против массы ТЭД 3100 кг на тепловозе 2ТЭ10Л с челюстными буксами и неподдрессоренной массой 4440 кг, и это дает основания принять величину необдрессоренной массы для ТЭ33а меньшей, чем 2ТЭ10Л, на величину, равную половине разницы масс ТЭД, т. е. $m_{н} = 4000$ кг. С указанными значениями параметров получаем $\ddot{x}_{кл} = 56$ м/с².

Момент инерции ротора ТЭД приблизительно примем равным моменту инерции цилиндра в виде пакета электротехнической стали плотностью $\gamma = 7650$ кг/м³, радиусом $r_p = 0,225$ м и длиной $l = 0,5$ м:

$$I_p = \gamma \pi \frac{r^4 l}{2}. \quad (5)$$

При указанных параметрах $I_p = 15,4$ кг/м².

Подставляя полученные значения в (3), получим среднемаксимальное значение $M_d = 6,4$ кНм, что соответствует динамической составляющей тягового усилия на оси 65 кН и коэффициенту тяги $\psi = 0,28$. Это означает, что, суммарное статическое и динамическое



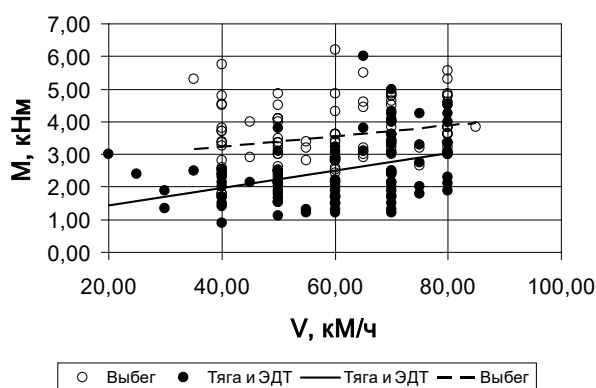


Рис. 12. Максимальные динамические моменты на валу осевого редуктора тепловоза 2ТЭ121–011, участок Воркута–Сосногорск, в разных режимах движения [по данным, полученным Измеровым О. В.].

тяговое усилие в этом случае превышало бы предел по сцеплению. Таким образом, жесткая зубчатая передача на тепловозе ТЭ3За должна приводить к тем же самым проблемам с ухудшением сцепления при прохождении вертикальных неровностей пути, которые ранее наблюдались на тепловозе 2ТЭ10Л, несмотря на то, что применение асинхронного ТЭД позволило снизить массу ТЭД в 1,4 раза и момент инерции якоря ТЭД – почти вдвое.

Как было указано выше, применение упругих звеньев в валопроводах опорно-осевого привода позволяет снизить максимальные значения динамического момента почти втрое. Эффективное снижение динамического момента достигается и путем применения опорно-рамного привода. Как показано на рис. 12, в опорно-рамном приводе с осевым редуктором тепловоза 2ТЭ121 наиболее высокие максимальные моменты наблюдаются в режиме выбега; в режиме тяги со скоростью 50 км/ч (что соответствует скорости часового режима грузовых электровозов) величина среднemaxимальной динамической составляющей момента на валу осевого редуктора составляет примерно 2,25 кНм, что для данного локомотива соответствует тяговому усилию на оси 15,5 кН и коэффициенту тяги $\psi = 0,06$.

При опорно-рамном приводе с полым валом двухосной тележки электровоза ВЛ84 в варианте с поводковыми муфтами максимальная величина динамической составляющей крутящего момента составила 6,5 кНм [14], что соответствует тяговому усилию на оси 30 кН и $\psi = 0,12$; для тележек с жесткими опорами кузова в опорно-рамном приводе

с полым валом динамический крутящий момент незначителен.

Еще одним путем снижения динамической составляющей крутящего момента в приводе и одновременно неподдрессоренной массы является упругое опирание ТЭД на ось или колесный центр (так называемый опорно-центральный привод). Как показали исследования [6], подобный привод может быть эффективен при диаметре колеса 1250 мм, поскольку при диаметре колеса 1050 мм недостаточно места для размещения упругих элементов, обеспечивающих достаточное снижение вертикальных ускорений ТЭД. В целом эффективность упругого опирания ТЭД на колесную пару снижается при повышении удельного крутящего момента на единицу массы ТЭД, поскольку предельные деформации упругих элементов от действия крутящего момента ограничивают возможность снижения их жесткости в радиальном направлении. Таким образом, использование привода с упругим опиранием ТЭД на ось колесной пары для грузовых локомотивов имеет смысл рассматривать только в случае электровозов с коллекторными ТЭД и осевой мощностью, повышенной до 1000 и более кВт.

Известно, что при начавшемся боксовании коэффициент трения между колесом и рельсом увеличивается, если в системе экипажной части привода возникают фрикционные автоколебания [15; 16]. Так, согласно [15], для промышленного электровоза 14КР1 в случае интенсивных фрикционных автоколебаний колесной пары при средней скорости скольжения 12 км/ч среднее значение касательного усилия колесной пары повышается на 38 %

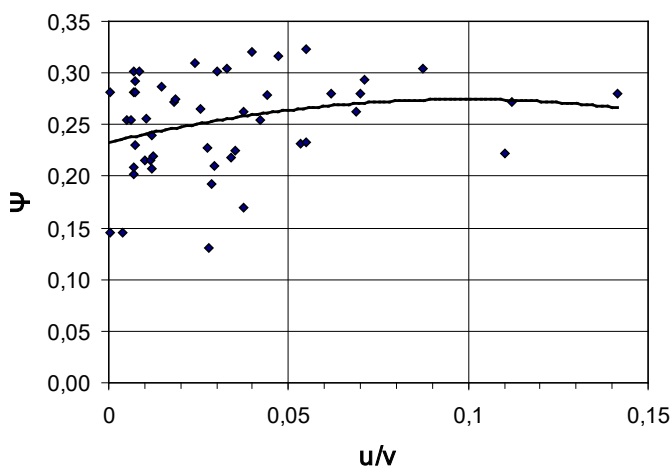


Рис. 13. Эмпирическая зависимость коэффициента сцепления оси ψ тепловоза 2ТЭ121–003Б от относительной скорости скольжения u/v в случае развития автоколебаний колесной пары [по данным, полученным Измеровым О. В.].

по сравнению с боксованием при отсутствии крутильных колебаний. Данное явление объясняется тем, что, вследствие снижения коэффициента трения при увеличении скорости скольжения, при колебательном изменении скорости скольжения интегральное значение силы трения оказывается выше, чем оно должно быть при средней скорости скольжения. О. В. Измеровым при испытаниях на кольце ВНИИЖТ тепловоза 2ТЭ121, привод которого склонен к развитию автоколебаний колесной пары, было обнаружено, что даже при скольжении 10–14 % коэффициент сцепления мог достигать величины 0,25–0,27 (рис. 13).

При этом наблюдалось не разносное, а перемежающееся боксование, несмотря на отсутствие на данном локомотиве поосного регулирования силы тяги. А. Голубенко в [9] также отмечает факт, что эксплуатационный коэффициент сцепления для тепловоза 2ТЭ121 при использовании песка выше, чем рассчитанный согласно нормативам тяговых расчетов для тепловозов 2ТЭ10 и 2ТЭ10Л, при этом эксплуатационный коэффициент сцепления для тепловозов 2ТЭ10Л и 2ТЭ10В был ниже расчетных нормативных.

При боксовании в режиме движения под тягой наиболее типична форма автоколебаний колесной пары, при которой колеса на одной оси колеблются в противофазе. Условия для развития таких колебаний существуют в приводах, имеющих упругие звенья в валопроводах (опорно-осевой привод с УЗК, опорно-рамный привод, опорно-

центральной привод). При этом необходимо ограничивать амплитуду колебаний во избежание появления недопустимо высоких касательных напряжений в оси (ограничением скорости скольжения или за счет виброударного гашения колебаний в тяговой передаче).

Предлагаемые решения

Модернизация трехосной тележки тепловоза

В настоящее время тепловозы 3ТЭ25км, эксплуатируемые на Восточном полигоне, в основном имеют трехосные бесчелюстные тележки, аналогичные тележкам тепловоза 2ТЭ116, в связи с чем целесообразно рассмотреть возможности повышения их тяговых свойств.

Устройство рассматриваемой тележки достаточно освещено в отечественной технической литературе, поэтому в настоящей статье рассмотрим возможные изменения:

- применение сбалансированного рессорного подвешивания;
- увеличение жесткости опор кузова на тележку;
- применение опорно-рамного привода.

Наиболее простым способом реализации сбалансированного рессорного подвешивания для рассматриваемой тележки является применение в буксовой ступени пневмопрусинного подвешивания, ранее примененного в опытном порядке на тепловозе 2ТЭ116–184 [10; 18] (рис. 14). Согласно [17], статический прогиб такого подвешивания составляет



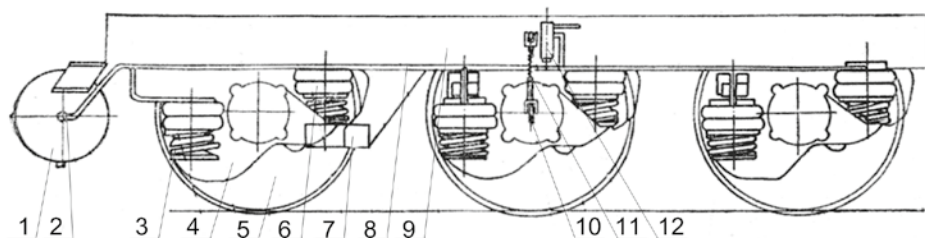


Рис. 14. Схема пневмопружиного подвешивания на унифицированной бесчелустной тележке: 1 – резервуар; 2 – дроссель; 3 – пружина; 4 – букса; 5 – колесная пара; 6 – пневмооболочка; 7 – поводок буксы; 8 – трубопровод; 9 – рама тележки; 10 – кронштейн; 11 – пружина; 12 – высотрегулирующий клапан [17].

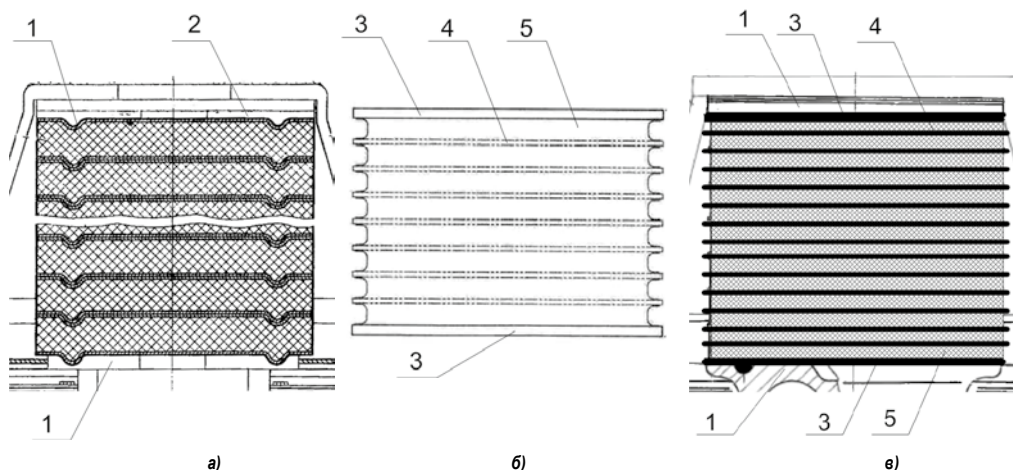


Рис. 15. Резинометаллические опоры кузова на тележку: а) трехосной бесчелустной тележки; б) тепловоза ТЭ33а (США); в) предлагаемая авторами статьи: 1 – опорные плиты; 2 – резинометаллический элемент; 3 – крайние пластины арматуры; 4 – промежуточные пластины арматуры; 5 – слой резины [29].

150 мм, что достаточно для тепловозов с конструкционной скоростью 100...120 км/ч.

Экспериментальными исследованиями установлено [9], что при пневмопружином подвешивании амплитуды динамических нагрузок по сравнению со штатным вариантом подвешивания на буксы снизились в 1,5...2,5 раза, что также снижает динамическую разгрузку оси при прохождении вертикальных неровностей пути.

Основной проблемой, возникающей при использовании пневмоподвешивания в буксовой ступени, является необходимость ограничения вертикальных перемещений букс относительно рамы тележки при отсутствии воздуха в пневморессорах (например, при перемещении экипажа по заводским путям). Известно, что динамические перемещения букс бесчелустной тележки при индивидуальном рессорном подвешивании составляют 30...35 мм [4], а при сбалансированном одноступенчатом – 22...26 мм [4; 18], что согласуется с отмеченным выше явлением сниже-

ния амплитуд динамических нагрузок. Это позволяет ожидать, что при пневмопружином сбалансированном подвешивании динамические перемещения букс относительно рамы тележки составят примерно 25 мм, что даст возможность ограничить вертикальные перемещения буксы величиной 35 мм, например установкой на буксы резиновых упоров.

Увеличение статического прогиба буксовой ступени рессорного подвешивания позволяет увеличить жесткость опор кузова на тележку. В комбинированных опорах кузова отечественных тепловозов (рис. 15а) опора представляет собой набор дисковых плоских однослойных резинометаллических элементов с толщиной резинового слоя 30 мм и металлических пластин толщиной 2 мм, в результате чего металлическая арматура составляет 12,5 % от высоты пакета. Такая конструкция была принята в 60-х годах прошлого века для упрощения технологической оснастки при изготовлении опор и возможности замены отдельных поврежденных элементов.

В опорах кузова тепловозов США (рис. 156) применяются многослойные резинометаллические пакеты, что усложняет оснастку, однако позволяет уменьшить толщину промежуточной арматуры и обеспечить одинаковые свойства резины в опоре.

Следует отметить, что вопрос о применении многослойных элементов в опорах кузова вместо набора однослойных был поднят еще в середине 80-х годов прошлого века, однако, поскольку целью предложения была только экономия металла, идея не была реализована. В данном же случае (рис. 15в) применение многослойного элемента позволяет при сохранении той же суммарной толщины резинового слоя (то есть, при тех же относительных деформациях сдвига при повороте тележки) существенно уменьшить расстояние между пластинами, увеличив тем самым жесткость опоры в разы и повысить коэффициент использования сцепного веса.

Увеличение жесткости опор кузова в совокупности со сбалансированным пневмоподвешиванием позволяет повысить коэффициент использования сцепного веса η примерно на 11 % по сравнению со штатным вариантом тележки.

Дальнейшее повышение этого показателя возможно при использовании опорно-рамного тягового привода. Однако применение тягового привода с полым валом на оси колесной пары на тепловозе с диаметром колеса 1050 мм связано со значительными трудностями, вызванными не только уменьшением централи зубчатой передачи из-за необходимости уменьшения диаметра ведомого зубчатого колеса, находящегося на обрессоренной массе (уменьшение числа зубьев с 75 до 72 при модуле 10), но, главным образом, из-за размещения полого вала между корпусом ТЭД и осью колесной пары, при этом расстояние между полым валом и осью должно быть порядка 40 мм. Как показали проработки [19], при одноступенчатой передаче требуется размещение промежуточного колеса. Другим путем решения является применение одностороннего шарнирно-поводкового механизма, что потребует создания многослойных сферических резинометаллических шарниров, имеющих нагрузочную способность в разы выше по сравнению с существующими. На данный момент можно лишь констатировать принципиальную возможность создания такого привода в перспективе и це-

лесообразность работ в этом направлении, поскольку опорно-рамный привод позволит не только несколько повысить значение η примерно на 4 %, но и снизить неподрессоренную массу.

Поскольку в любом случае недостатком трехосной бесчелюстной тележки остается значительная база по сравнению с двухосными, по мнению авторов, для тепловозов серии 3ТЭ25км, работающих в настоящее время на Восточном полигоне, имеет смысл модернизация в виде внедрения сбалансированного пневмоподвешивания и более жестких опор кузова, что не требует значительных изменений в конструкции тележки и сохраняет высокую степень ее унификации с серийным вариантом. Для реализации коэффициента тяги $\psi = 0,3$ и выше необходимо создание новой экипажной части, учитывающей специфику Восточного полигона.

Унифицированная тележка тепловоза и электровоза.

В настоящее время известны планы создания двух локомотивов для Восточного полигона. Так, АО «Синара Транспортные Машины» планирует создать двухсекционные тепловозы 2ТЭ35а с восьмиосной тележкой, имеющей верхнюю промежуточную раму, с длиной секции 24 м. В свою очередь, АО «ТМХ» планируется создать трехсекционный газотепловоз 3ТЭ30г со средней секцией, в которой размещен запас сжиженного газа или дизельного топлива.

Оба варианта имеют свои достоинства и недостатки. Восьмиосная тележка тепловоза 2ТЭ35а позволяет повысить коэффициент сцепления в кривых, однако при этом ограничено место под размещение топливного бака даже при общей длине секции 24 м, что препятствует возможности использовать сжиженный газ. Кроме того, верхняя промежуточная рама имеет большой вес, а анонсированное использование ТЭД от электровоза 2ЭС8, имеющего двустороннюю жесткую зубчатую передачу, ведет к снижению коэффициента сцепления при проезде неровностей пути как за счет высокой неподрессоренной массы (поскольку в нее включаются вращающиеся массы ротора), так и вследствие динамических нагрузок в приводе. На тепловозе 3ТЭ30г с длиной секции 20 м использование трехосной тележки упрощает и облегчает конструкцию, однако ведет



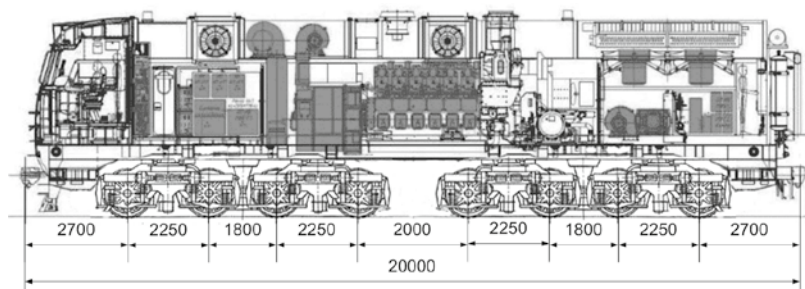


Рис. 16. Пример размещения восьмиосной тележки на крайней секции тепловоза 3ТЭ30г по предложению авторов статьи.

к ухудшению сцепных свойств и увеличению износа гребней колес; использование же восьмиосного экипажа нереально из-за невозможности в этом случае разместить под кузовом топливный бак или увеличить длину секции из-за недопустимого увеличения общей длины тепловоза.

Таким образом, использованию двухосных тележек на тепловозе 3ТЭ30г препятствует антагонизм свойств: топливный бак должен быть и его не должно быть. Антагонизм можно снять, если разместить практически весь запас топлива на средней секции, оставив на крайних небольшой бак для самостоятельных перемещений расцепленной секции по депоовским путям. В этом случае оказывается возможным применить на крайних секциях тепловоза восьмиосные тележки с нижней рамой, аналогичные примененным на тепловозе ТЭ136 (рис. 16).

В этом случае тележки средней секции могут быть выполнены необмоторенными. Если же на средней секции использовать две двухосные обмоторенные тележки, то на крайних секциях можно использовать три двухосные тележки, подобно тому, как это сделано на электровозе ЭП1 (рис. 17), применив для передачи силы тяги на кузов наклонные тяги (на рис. 15 не показаны).

Указанные виды компоновки могут быть реализованы и в варианте электровоза. Кроме того, при компоновке тепловоза с крайними восьмиосными секциями и обмоторенной четырехосной средней секцией общая мощность тепловоза может быть повышена с 6 до 8,8 мВт путем использования отечественного дизель-генератора 12ЛДГ500.

Применение наклонных тяг или низко расположенной рамы, компенсирующих перераспределение веса по осям, позволяет свободно выбирать тип тягового привода. В связи с тем, что реализация высоких тяговых усилий требует создания новых конструктивных элементов для передаточного механизма, расположенного на низкооборотной части привода (например, двухслойных сферических резинометаллических шарниров, ранее описанных авторами в [20]), а сроки разработки и освоения производством новых локомотивов ограничены, возможны два варианта привода, которые, с одной стороны, не требуют создания принципиально новых конструктивных элементов, а с другой – обеспечивают снижение неподдрессоренной массы локомотива и динамической составляющей силы тяги:

- привод с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором;
- привод с опорно-осевым подвешиванием ТЭД агрегатной компоновки.

Использование опорно-рамного привода с осевым редуктором целесообразно при использовании ТЭД с максимальной частотой вращения ниже 3000 мин^{-1} , поскольку это позволяет разместить торсионный вал передаточного механизма внутри полого ротора. При коэффициенте тяги в продолжительном режиме $\psi = 0,3$ и осевой нагрузке $245,25 \text{ кН}$ привод должен обеспечивать силу тяги на ободу колеса $F_{\infty} = 73,575 \text{ кН}$. Для реализации такой силы тяги передаточное число редуктора должно составить:



Рис. 17. Вариант компоновки тепловоза с обмоторенными осями средней секции и шестиосными крайними секциями по предложению авторов статьи.

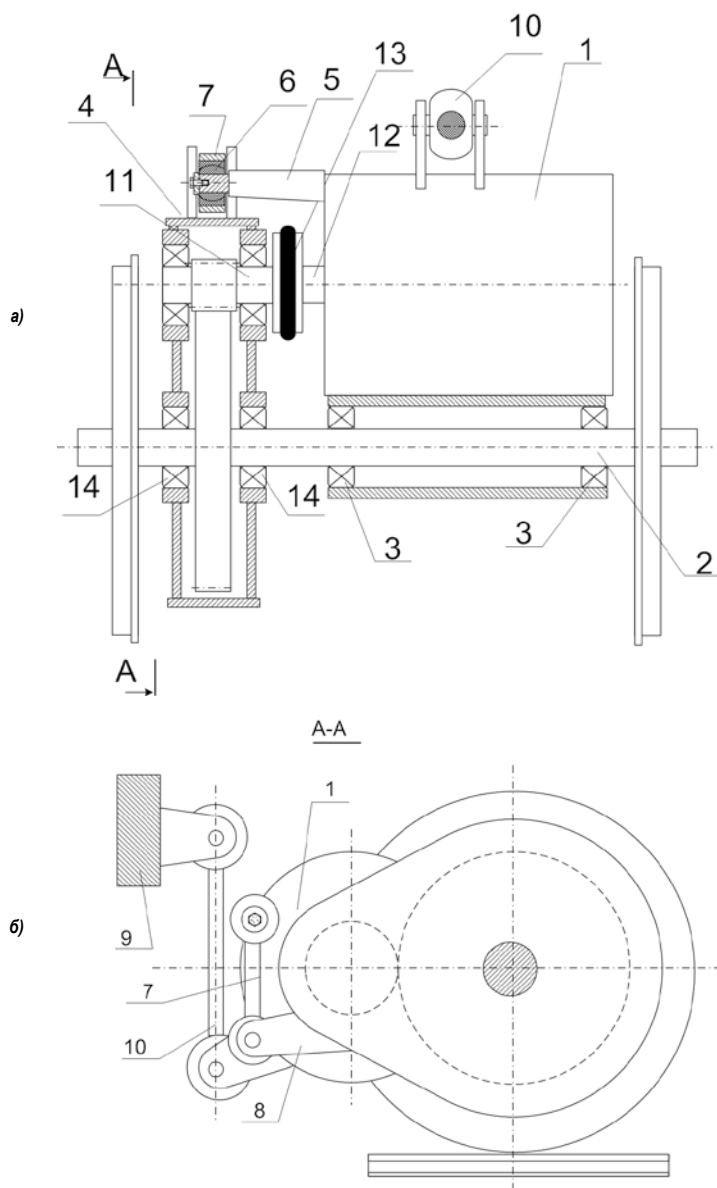


Рис. 18. Агрегатная компоновка опорно-осевого привода, предложенная авторами статьи: а) общий вид; б) вид со стороны осевого редуктора; 1 – ТЭД; 2 – колесная пара; 3, 14 – подшипники; 4 – осевой редуктор; 5 – кронштейн с пальцем; 6 – сферический шарнир; 7 – подвеска; 8 – кронштейн осевого редуктора; 9 – рама тележки; 10 – подвеска ТЭД; 11 – вал ТЭД; 12 – вал осевого редуктора; 13 – упруго-компенсационная муфта [28].

$$u = \frac{F_{\infty} D_k}{2 M_{\infty} \eta_3}, \quad (6)$$

где $M_{\infty} = 10,4$ кНм – вращающий момент ТЭД в продолжительном режиме (по аналогии с ТЭД СТА-1200У1 электровоза ДСЗ, имеющего привод данного типа);

$D_k = 1,25$ м – диаметр колеса;

$\eta_3 = 0,98$ – к.п.д. зубчатой передачи при подшипниках качения.

Для указанных параметров $u = 4,51$. При модуле зубчатой передачи, равном 10 и числе зубьев ведомого зубчатого колеса, равном 95,

наиболее близкое число зубьев малого зубчатого колеса равно 21, т.е. всего на один зуб меньше, чем в осевом редукторе на тепловозе 2ТЭ121 (при этом $u = 4,52$). Поскольку радиальный габарит ТЭД СТА1200У1 в плоскости тяговой передачи составляет около 800 мм, что существенно меньше, чем наружный диаметр ТЭД ЭД126АУХЛ1 (1036 мм), возможность размещения ТЭД СТА1200У1 при данном передаточном числе можно считать доказанным.

Максимальная частота вращения ротора ТЭД при данном передаточном числе составит:



$$n_{\max} = \frac{60v_k u}{3,6\pi D_k}, \quad (7)$$

где $v_k = 120$ км/ч – конструкционная скорость локомотива.

При указанных выше величинах $n_{\max} = 2304$ мин⁻¹, что значительно ниже расчетной максимальной частоты вращения ТЭД СТА1200У1 (2304 мин⁻¹), поэтому можно считать, что существенных проблем с роторными подшипниками в рассмотренном случае не возникнет.

При использовании ТЭД с максимальной частотой вращения порядка 3500 мин⁻¹ целесообразно использовать опорно-осевой привод агрегатного типа, преимущества которого по сравнению с применяемым на зарубежных локомотивах интегрированным приводом (рис. 10в) были ранее подробно изложены авторами в [21]. Согласно [22], к агрегатным тяговым приводам предложено относить тяговые приводы, которые содержат несколько узлов с одним и тем же типом опирания, сохраняющих работоспособность по отдельности друг от друга, и связанные друг с другом подвижными соединениями. Благодаря подвижности соединения осевого редуктора и ТЭД появляется возможность соединить валы осевого редуктора и ТЭД упруго-компенсирующей муфтой, при этом несоосность указанных валов, в отличие от опорно-рамного привода с осевым редуктором, не зависит от вертикальных перемещений буксы, а определяется только погрешностями изготовления деталей. Незначительная несоосность валов дает принципиальную возможность применить одинарную компенсирующую муфту и повысить частоту ее вращения до величин, определяемых ресурсом ведущего зубчатого колеса и подшипников входного вала. Кроме того, наличие упругой связи между ротором ТЭД и колесной парой способствует развитию при боксовании автоколебаний колесной пары, что повышает коэффициент сцепления.

Авторами разработан и запатентован ряд конструктивных схем подобных приводов (например, [23–26]). Один из предлагаемых авторами вариантов такого привода представлен на рис. 18.

В предлагаемом приводе осевой редуктор связан с ТЭД, опирающимся на ось колесной пары, шарнирной подвеской, которая не позволяет осевому редуктору перемещаться относительно ТЭД в вертикальном направле-

нии, но при этом не требуется такая точность изготовления корпусных деталей, как в описанном выше приводе интегрированного типа. Как видно из рис. 17а, агрегатная компоновка ведет к некоторому увеличению осевых габаритов привода для размещения упругой муфты, однако, как ранее было доказано авторами в [27], для локомотивов колеи 1520 мм это не препятствует размещению ТЭД требуемой мощности. На привод, изображенный на рис. 17, авторами получен патент на полезную модель [28].

Исходя из того, что для тепловоза ТЭ136, на котором была применена восьмиосная тележка с опорно-рамным приводом и передачей силы тяги через низко расположенную промежуточную раму, без применения систем поосного регулирования силы тяги, коэффициент тяги ψ был повышен до 0,24 против 0,18 у тепловоза 2ТЭ116, то есть, на 33 %, в то время как выравнивание нагрузок по осям теоретически позволяло улучшить тяговые свойства по отношению с тепловозом 2ТЭ116 не более чем на 15 %, имеются основания полагать, что предлагаемый вариант унифицированной тележки для грузовых тепловозов и электровозов при использовании бесколлекторных ТЭД с поосным регулированием позволит повысить коэффициент тяги в расчетном режиме до величин 0,3...0,33.

ВЫВОДЫ

Выявлено наличие проблемы рационального выбора конструкторских решений экипажной части локомотивов, обеспечивающих наиболее полное использование сцепных свойств в условиях Восточного полигона, характеризующегося наличием значительного количества кривых радиусом 350 м и менее.

На основе проведенного анализа факторов, влияющих на сцепные свойства, предложена расширенная классификация методов улучшения сцепных свойств за счет совершенствования экипажной части.

Установлены факторы, которые могут приводить к ухудшению сцепных свойств отечественных локомотивов в условиях Восточного полигона. Для грузовых тепловозов с унифицированными трехосными тележками ухудшение сцепных свойств вызывает значительная база тележки, недостаточная жесткость резинометаллических опор кузова на тележку при верхнем расположении шкворня

и несбалансированное буксовое подвешивание. Применение на тепловозах тележек с радиальной установкой колесных пар лишь частично устраняет данные недостатки, поскольку буксовое подвешивание остается несбалансированным, а низко расположенный шкворень менее эффективен по сравнению с передачей тягового усилия на кузов с помощью наклонной тяги, при этом механизмы радиальной установки колесных пар усложняют конструкцию тележки, ее обслуживание и ремонт. Для грузовых электровозов фактором, ухудшающим тяговые свойства, является применение жесткой передачи в опорно-осевом приводе, приводящей при проезде неровностей пути к возникновению суммарных статических и динамических крутящих моментов, превышающих предел по сцеплению.

Установлено, что экипажную часть зарубежных грузовых локомотивов также нельзя считать полностью рациональной с точки зрения максимизации сцепных свойств, в первую очередь из-за жесткой зубчатой передачи. Для тепловоза ТЭ33а разработки компании General Electric сцепные свойства также ухудшает значительная база трехосной тележки и применение челюстных букс.

В качестве мер по модернизации унифицированной трехосной тележки грузовых тепловозов предложено использовать сбалансированное пневмопружинное подвешивание в буксовой ступени и увеличение жесткости резинометаллических опор кузова на тележку за счет перехода от набора отдельных резинометаллических элементов к многослойной резинометаллической опоре с увеличенным числом промежуточных пластин.

Предложено для создания унифицированной экипажной части перспективных тепловозов и электровозов для Восточного полигона с бесколлекторным приводом в варианте тепловоза отказаться от размещения топливных баков под кузовами крайних секций, и основной запас топлива разместить в средней четырехосной секции. Это позволит при длине крайней секции 20 м применить на крайних секциях либо две четырехосные тележки в виде двухосных с базой 2250 мм, объединенных низко расположенной балкой, либо три двухосные с передачей тягового усилия на кузов с помощью наклонной тяги. В качестве тягового привода предлагается использовать конструкции с упругой связью

ротора ТЭД и колесной пары, в виде опорно-рамного привода с осевым редуктором и ТЭД с максимальной частотой вращения ниже 2500 мин⁻¹, либо опорно-осевого привода агрегатной схемы с упругой муфтой. Предполагается, что данные меры позволят повысить эксплуатационный коэффициент сцепления с 0,27 до 0,3...0,33, в том числе и за счет развития автоколебаний колесной пары в режиме боксования.

По теме статьи авторами получено семь патентов на полезные модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зак В. В., Васильев И. П., Кулабухов А. С., Дмитриев С. А., Варфоломеев Р. С. Перспективный тепловоз для Восточного полигона // Локомотив. – 2018. – № 9 (741). – С. 33–35. EDN: XYBREL.
2. Фуфрянский Н. А., Нестрахов А. С., Долганов А. Н., Каменев Н. Н., Пахомов Э. А. Развитие локомотивной тяги / Под ред. Н. А. Фуфрянского и А. И. Бевзенко. – М.: Транспорт, 1982. – 303 с.
3. Яновский А. С. На заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 7–9. EDN: PHTDSQ.
4. Беляев А. И., Бунин Б. Б., Голубятников С. М. [и др.]. Повышение надежности экипажной части тепловозов: Монография / Под ред. Л. К. Добрынина. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
5. Голубятников С. М., Сорочкин Э. М., Петров А. В., Спиригин И. К., Бурка М. Л., Кутепов С. А. Влияние конструкций и характеристик горизонтальных связей кузова с тележками на динамику тепловоза 2ТЭ121 в прямых, кривых и стрелочных переводах // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121. Тр. ВНИТИ. – 1985. – Вып. 62. – С. 97–108.
6. Михальченко Г. С., Юршин А. С. Оценка износа колес грузового тепловоза с радиальной установкой колесных пар // Вестник БГТУ. – 2007. – № 2 (14). – С. 39–43. EDN: KWBKRT.
7. Kraft, K. Die Haftreibung. Elektrische Bahnen. 1968. Heft 6, pp. 142–150; Heft 7, pp. 161–170; Heft 8, pp. 190–198; Heft 9, pp. 214–219.
8. Измеров О. В., Литвинов А. Т., Акишин Е. П., Вербер Ф. Г., Лысак В. А., Авраменко В. С., Власов В. И., Кочергин В. В. Динамические нагрузки в тяговом приводе тепловоза 2ТЭ121 // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121: Тр. ВНИТИ. – 1985. – Вып. 62. – С. 119–130.
9. Евстратов А. С. Экипажные части тепловозов. – М.: «Машиностроение», 1987. – 136 с.
10. Воробьев В. И., Антипин Д. Я., Копылов С. О., Измеров О. В., Шорохов С. Г., Маслов М. А., Ашуркова С. Н. Патент на полезную модель № 185449, Российская Федерация, СПК В61С 9/38 (2006.01). Устройство для крепления тягового электродвигателя локомотива к раме тележки / Оpubл. 05.12.2018. Бюл. № 34. [Электронный ресурс]: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/I Z P M / R U N W U I / 0 0 0 / 0 0 0 / 0 0 0 / 1 8 5 / 4 4 9 / % D 0 % 9 F % D 0 % 9 C - 0 0 1 8 5 4 4 9 - 0 0 0 0 1 / document.pdf>. Дос-туп 25.01.2024.
11. Антипин Д. Я., Космодамианский А. С., Измеров О. В., Борзенков М. И., Маслов М. А., Новиков А. С., Самотканов А. В. Патент на полезную модель № 187685, Российская Федерация, СПК В61С 9/38 (2006.01). Устройство для крепления тяговых электродвигателей локомотива к раме двухосной тележки / Оpubл. 14.03.2019. Бюл. № 8. [Электронный ресурс]:





29. Карпов А. П. Совершенствование конструкции упругих элементов экипажной части тепловоза серии ТЭ33А для улучшения динамических показателей / Дисс... докт. философии (PhD). – Алматы: Международный транспортно-гуманитарный университет, 2024–131 с. [Электронный ресурс]: <https://official.satbayev.university/download/documentPhd/36064/Dissertation.pdf?ysclid=ml7x05e9i5174433636>. Доступ 25.01.2024.

Космодамианский А. С., Воробьев В. И., Измеров О. В., Николаев Е. В., Шевченко Д. Н.
Повышение тягово-сцепных свойств локомотивов путем совершенствования экипажной части



ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ 70, 81

Развитие городского пассажирского транспорта общественного пользования: приоритеты и приоритетные полосы.

Пропускная способность городских магистралей: как получить более точные данные.



УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА



ТРАНСПОРТНОЕ ПАРТНЕРСТВО 88, 92

МТК «Север – Юг»: перспективы и потенциал развития.

Евразийский вектор развития.



ПЕРЕВОЗКИ ЦЕННЫХ ГРУЗОВ 96

Технические и организационные аспекты – начало обсуждения.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>

Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта



Татьяна КОНОВАЛОВА



София НАДИРЯН



Ирина КОТЕНКОВА



Иван СЕНИН

Татьяна Вячеславовна Коновалова¹, София Леоновна Надирян², Ирина Николаевна Котенкова³, Иван Сергеевич Сенин⁴

^{1, 2, 3, 4}Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия...

¹ ORCID 0000-0002-1818-4229; Web of Science Researcher ID: AAJ-1426-2021; Scopus Author ID: 57211052284; РИНЦ SPIN-код: 4175-7031.

² ORCID 0000-0002-7489-9982; Scopus Author ID: 57219598896; РИНЦ SPIN-код: 4514-7699.

³ ORCID 0000-0002-8653-8930; РИНЦ SPIN-код: 6427-8610.

⁴ ORCID ID: 0000-0001-9807-4830; Scopus Author ID: 57219594279; РИНЦ SPIN-код: 1286-9857.

✉ ³ kot83@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается эффективность обеспечения приоритетных условий для городского пассажирского транспорта путем выделения отдельных полос маршрутного транспорта на проезжей части. Представлены результаты моделирования транспортного потока на рассматриваемых участках уличной сети города, сделан вывод о необходимости улучшения организации дорожного движения на этих участках с учетом интенсивности и состава транспортного потока.

Имитационное моделирование позволяет создавать математические или компьютерные модели для анализа и оценки условий движения городского пассажирского транспорта. Модели основаны на различных параметрах транспортных потоков, графика работы городского пассажирского транспорта, расположении остановок маршрутного транспорта и т.д. Моделирование позволяет проводить различные эксперименты для оценки эффективности различных мероприятий и изменений в транспортной системе.

Целью исследования является разработка методики анализа условий движения, которая позволит определить и присвоить приоритетное право движения городскому пассажирскому транспорту

с тем, чтобы достичь эффективности и комфорта его функционирования, улучшения транспортной доступности и сокращения задержек в движении.

Оптимизация дорожного движения предусматривает различные сценарии организации с целью поиска оптимальных решений, снижающих задержки, заторы, интенсивность движения и т.д.

Планирование маршрута необходимо для разработки оптимальной стратегии эффективного обслуживания пассажиров. Прогнозы спроса дают возможность смоделировать не только пассажиропоток, но и потребность в перевозках в разные периоды, что необходимо для планирования маршрутов и выбора оптимальных характеристик подвижного состава. Все эти направления моделирования движения городского пассажирского транспорта разрабатываются для достижения целей роста эффективности, снижения рисков совершения дорожно-транспортных происшествий, повышения качества транспортного обслуживания и безопасности пассажирских перевозок, что должно создать устойчивую систему, направленную на удовлетворение основных потребностей пассажиров городского транспорта.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, улица, транспортный поток, интенсивность, модель, движение, эффективность

Для цитирования: Коновалова Т. В., Надирян С. Л., Котенкова И. Н., Сенин И. С. Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 70–80. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.

English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Организация дорожного движения актуальна для всех городов мира. Крупные и средние города развивающихся стран в настоящее время находятся на такой стадии развития, когда идет совершенствование транспортной составляющей, и соответственно, все больше проявляются проблемы, связанные с интенсивным транспортным ростом. К таким проблемам относятся уровень загрузки улично-дорожной сети, качество транспортного обслуживания, проблемы экологии транспорта, безопасность движения. Если в больших городах идет тренд на вытеснение личных автомобилей из центра и переход на общественный и экологически чистый транспорт, что еще несколько лет назад казалось невозможным, то в развивающихся нарастают проблемы другого рода: некоторое повышение уровня жизни, доступность кредитных продуктов и за счет этого повышение покупательской способности населения ведут к увеличению уровня автомобилизации.

При этом в настоящее время в крупных и крупнейших городах наиболее актуальной транспортной проблемой является несоответствие параметров улично-дорожной сети и уровнем автомобилизации. Для повышения качества транспортного обслуживания населения и решения конфликтов в системе городского транспорта необходима разработка и реализация мероприятий по популяризации и повышению привлекательности городского пассажирского транспорта. Для достижения этих целей необходимо увеличивать востребованность маршрутного транспорта, как вариант – за счет повышения качества транспортного обслуживания. Одним из основных критериев оценки эффективности транспорта пользователями является скорость сообщения. И в таком случае, все большую актуальность приобретает обеспечение приоритетного движения наземного пассажирского транспорта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выделенные полосы: анализ проблем и подходы к решениям

«Для обеспечения эффективного функционирования системы присвоения приоритета маршрутному транспорту необходима результативная методика расчета эффективности работы выделенной полосы с

учетом заданных критериев и моделирования движения транспортных потоков на участках улично-дорожной сети. Направление обеспечения приоритетного движения городского пассажирского транспорта в рамках оптимизации работы транспортной системы активно проводится в европейских городах, а так же в агломерациях Китая, США» [1].

С увеличением интенсивности транспортных потоков задача обеспечения оптимального скоростного режима и безопасности маршрутного пассажирского транспорта (МПТ) становится особенно актуальной и вместе с тем трудноразрешимой. «Ее решение требует предоставления определенных преимуществ маршрутным транспортным средствам, которые обеспечиваются:

- нормативной документацией;
- дорожными знаками и элементами светофорного регулирования;
- обеспечением преимущественного права движения в цикле светофорного регулирования на пересечениях» [2];
- введением отдельных ограничений для остальных транспортных средств на улицах и дорогах, по которым проходят маршруты городского пассажирского транспорта (ГПТ);
- выделением полосы приоритетного движения маршрутного пассажирского транспорта.

Описанные методы обеспечиваются техническими средствами, представленными на рис. 1.

Для повышения скорости сообщения городского маршрутного транспорта возможно выделение любой полосы улицы в качестве приоритетной.

Так же есть возможность использовать для остановок автобусов остановочные площадки трамваев. В таких случаях использование посадочной площадки и остановочного павильона совместно осуществляется пассажирами и автобусного маршрутного транспорта, и трамваев.

Если принимается решение о выделении в качестве приоритетной полосы для движения МПТ крайней правой полосы городской улицы, то возникают определенные сложности, связанные с маневром правого поворота, – легковым автомобилям для совершения маневра приходится перестраиваться на полосу для МПТ, а так же сложности возникают с остановкой и стоянкой – другие транспорт-





Рис. 1. Технические средства обеспечения приоритета маршрутных транспортных средств [выполнено авторами].

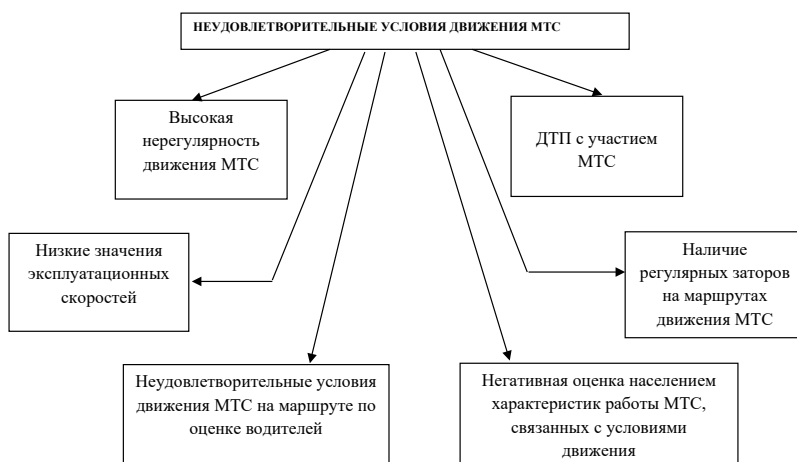


Рис. 2. Необходимые условия движения маршрутных транспортных средств (МТС) для введения приоритетного движения [выполнено авторами].

ные средства не могут останавливаться на полосе движения МПТ.

«Для определения участков улично-дорожной сети, на которых необходимо и целесообразно введение приоритета МПТ» [3], необходимо определить, какие условия движения МПТ на данном участке являются негативными. Это можно установить по определенным признакам неудовлетворительных условий движения МПТ (рис. 2).

«В настоящее время отсутствуют критерии ввода выделенных полос для маршрутного пассажирского транспорта» [4]. Данные мероприятия реализуются хаотично, без учета пропускной способности проезжей части. Фактическая минимальная пропускная способность участка улично-дорожной сети зависит от пропускной способности наиболее «узких» участков – сложных пересечений в

одном уровне с многофазным светофорным регулированием.

Соответственно, возникает необходимость разработки методики расчета эффективности работы выделенной полосы с учетом заданных критериев, моделирования движения транспортных потоков на участках улично-дорожной сети и определение основных этапов реализации приоритета городского пассажирского транспорта, что определяет актуальность данной темы.

«Для того, чтобы оценить возможность и эффективность предоставления приоритетной полосы для движения МПТ, возможно использовать критерий сравнительной пропускной способности. Если значение данного критерия превышает единицу, то введение приоритета можно считать эффективным и целесообразным» [4].

$$K1 = \frac{(S1 \varepsilon (n-1))}{(Q-q)}, \quad (1)$$

где $S1$ – пропускная способность одной полосы дороги, ед./ч;

ε – коэффициент распределения транспортных средств по ширине проезжей части;

n – число полос движения на перегоне;

Q – интенсивность движения на перегоне, ед./ч;

q – интенсивность движения маршрутного пассажирского транспорта, ед./ч [5].

Для принятия решения о необходимости введения приоритета движения МПТ обязательным является использование результатов обследования условий дорожного движения, транспортного потока, а также необходимо учитывать анализ эффективности принимаемого решения как с технической, так и с экономической точки зрения.

«Для оценки целесообразности введения приоритетного права движения маршрутного пассажирского транспорта используется такой критерий, как снижение затрат времени, затрачиваемых участниками движения на перемещение на рассматриваемом участке улично-дорожной сети при заданном уровне наполнения маршрутного пассажирского транспорта и легкового транспорта» [5].

«Компьютерная модель транспортной системы города с использованием программного комплекса позволяет провести расчеты пассажирских потоков с учетом индивидуального и общественного транспорта» [5]. «Модель состоит из двух основных частей» [6] (рис. 3).

Определение оптимального варианта маршрутной сети городского пассажирского транспорта на основании данных моделирования и экспертного анализа

«Для совершенствования структуры маршрутной сети городского пассажирского транспорта необходимо произвести предварительное моделирование с использованием математических инструментов, с учетом таких показателей как суммарное время на передвижение «от двери до двери», удаленность остановочных пунктов, частота движения городского пассажирского транспорта, количество пересадок при поездке пассажиров, безопасность, степень наполнения подвижного состава, стоимость проезда, удобство пользования транспортом и т.д.» [7].

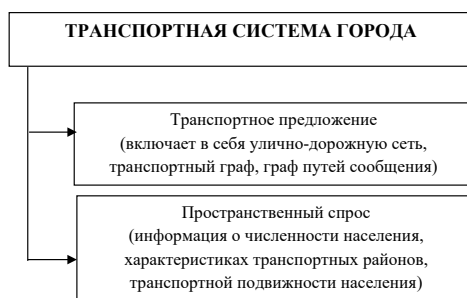


Рис. 3. Модель транспортной системы города [выполнено авторами].

Алгоритм реализации приоритетного права движения маршрутного пассажирского транспорта представлен на рис. 4.

Данные для расчетов собирались натурным способом, методом подсчета количества проехавших транспортных средств через сечение дороги. Далее для упрощения расчетов общая интенсивность рассчитывается как приведенная по формуле (2):

$$Nnp = \sum_{i=1} (Ni \cdot Knp), \quad (2)$$

где Ni – интенсивность движения автомобилей данного типа, авт/ч;

Knp – коэффициенты приведения для данной группы автомобилей¹.

Для определения целесообразности предоставления приоритета МПТ необходимо осуществить определенный алгоритм действий [8] с помощью соответствующего программного обеспечения (рис. 5).

В ходе выполняемой работы был рассмотрен участок улично-дорожной сети Центрального района города Краснодара на пересечении улиц Офицерская и шоссе Нефтяников.

«Движение по улице Офицерская со стороны улицы Дзержинского – одностороннее, ширина проезжей части составляет 9 м, количество полос движения на данном участке равно трем, по обеим сторонам проезжая часть оборудована тротуарами шириной 1,5 м, дорожное покрытие – асфальтобетон. После пересечения шоссе Нефтяников движение становится двусторонним, с шириной проезжей части 18 м и шестью полосами» [9].

На улице Офицерской нанесена дорожная разметка, состояние данной разметки оцени-

¹ Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1997. – 231 с. ISBN 5-277-01959-6.



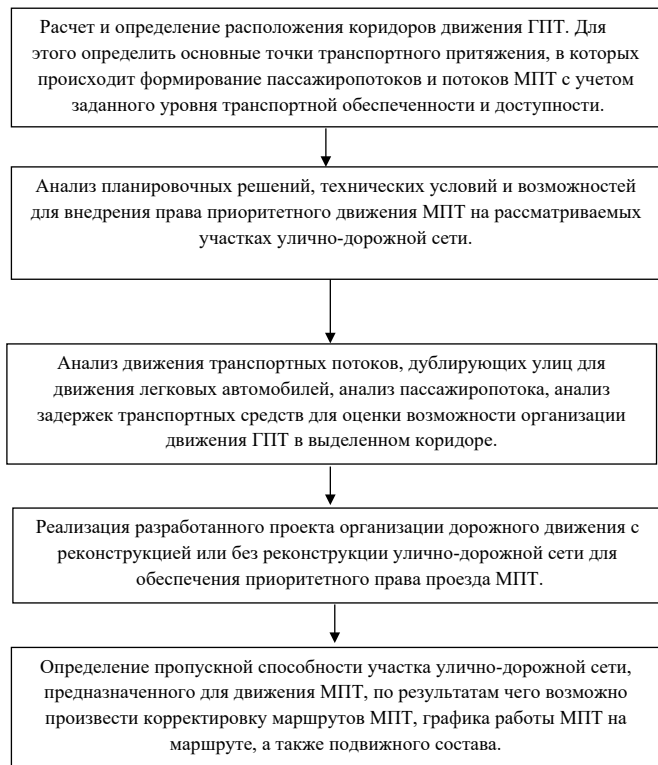


Рис. 4. Основные этапы реализации приоритета городского пассажирского транспорта [выполнено авторами].

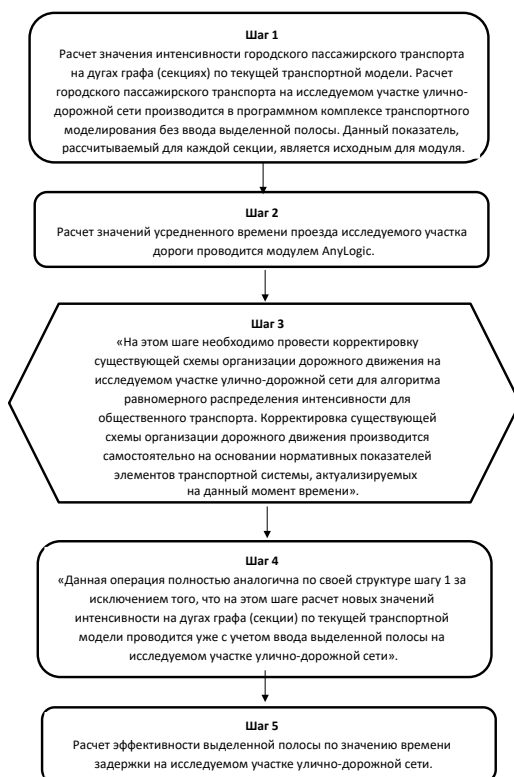


Рис. 5. Расчет эффективности выделенной полосы [выполнено авторами].

вается как хорошее. На перекрестке Офицерская – шоссе Нефтяников имеется светофорное регулирование.

Перекресток на схеме города Краснодара представлен на рис. 6.

Данный перекресток является регулируемым и оснащен светофорным объектом.

Так же в процессе работы был рассмотрен участок УДС Центрального района города Краснодара на пересечении улиц Офицерская и Красная.

«Движение по улице Офицерская двухстороннее, ширина проезжей части по улице Офицерская составляет 21 метров, количество полос движения на данном участке равно семи, по обеим сторонам проезжая часть оборудована тротуарами шириной 1,5 м, дорожное покрытие – асфальтобетон» [9].

На улице Офицерская нанесена дорожная разметка, состояние данной разметки оценивается как хорошее.

Перекресток на схеме города Краснодара показан на рис. 7.

Данный перекресток также является регулируемым и оснащен светофорным объектом.

Данные перекрестки были выбраны в качестве объекта исследования из-за высокой



Рис. 6. Перекресток ул. Офицерской и ул. шоссе Нефтяников на схеме г. Краснодара.



Рис. 7. Перекресток ул. Офицерской и ул. Красная на схеме г. Краснодара.

интенсивности движения как легковых, так и маршрутных транспортных средств. Высокая интенсивность оправдана тем, что улица Офицерская является связующей улицей между тремя районами города: Центрального, Прикубанского и Фестивального.

При существующей схеме организации дорожного движения на улице Офицерской от улицы Колхозной до шоссе Нефтяников затруднен беспрепятственный въезд в город с Ростовского шоссе и улицы Колхозной. Схема показана на рис. 8.

В имеющихся условиях среднее число машин и среднее время проезда этого участка за час отслеживания движения при нынешней интенсивности дорожного движения в программе AnyLogic 8.7.5 оценивается как 269 транспортных средств и 734 секунды (рис. 9).

В процессе исследования перекрестка были выявлены различного рода недостатки, которые мешают нормальному движению на пересечении улиц. Именно эти недостатки авторы предлагают ликвидировать путем изменения существующей схемы организации дорожного движения и создания выделенной полосы для МТС.

После проведения натурных наблюдений и оценки целесообразности существующей схемы организации дорожного движения можно сделать вывод о необходимости проектирования усовершенствованной схемы организации дорожного движения на рассматриваемом участке улично-дорожной сети для увеличения пропускной способности по направлению к центру города. Кроме того, есть необходимость в снижении аварийности на





Рис. 8. Существующая схема ОДД на улице Офицерская [выполнено авторами].

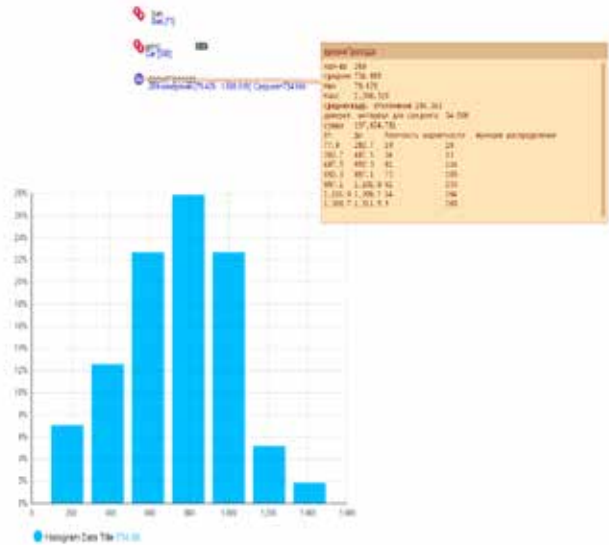


Рис. 9. Результаты, зафиксированные в AnyLogic за час эксперимента [выполнено авторами, скрин окна программы в процессе эксперимента].

данном участке и повышении безопасности движения других участников.

В первую очередь необходимо улучшить видимость существующих знаков дорожного движения, часть которых практически не видно из-за зеленых насаждений [10].

Были предложены изменения в организации дорожного движения улиц: Офицерская, Красная и шоссе Нефтяников.

Так, для пересечения улиц Офицерская и шоссе Нефтяников была предложена реконструкция перекрестка таким образом, чтобы его можно было проезжать без светофорного регулирования.

Предлагаемые рекомендации рассмотрим для каждой стороны перекрестка.

Улица Офицерская со стороны улицы Красной:

- сделать участок дороги от улицы Красной до улицы шоссе Нефтяников односторонним;

- крайнюю правую полосу сделать выделенной для МТС;

- увеличить количество полос движения с четырех до пяти;

- две крайние правые полосы (1 и 2) останутся для поворота направо на улицу шоссе Нефтяников в сторону улицы Лузана;

- третья полоса посередине позволит двигаться прямо в сторону улицы Дзержинского и налево во вторую полосу;

- две крайние левые полосы (3 и 4) останутся для поворота налево на улицу шоссе Нефтяников в сторону улицы Красной в третью и четвертую полосы.

Таким образом, с этого направления можно будет следовать в любом из трех оставшихся направлений.

Улица шоссе Нефтяников по направлению к улице Красной:

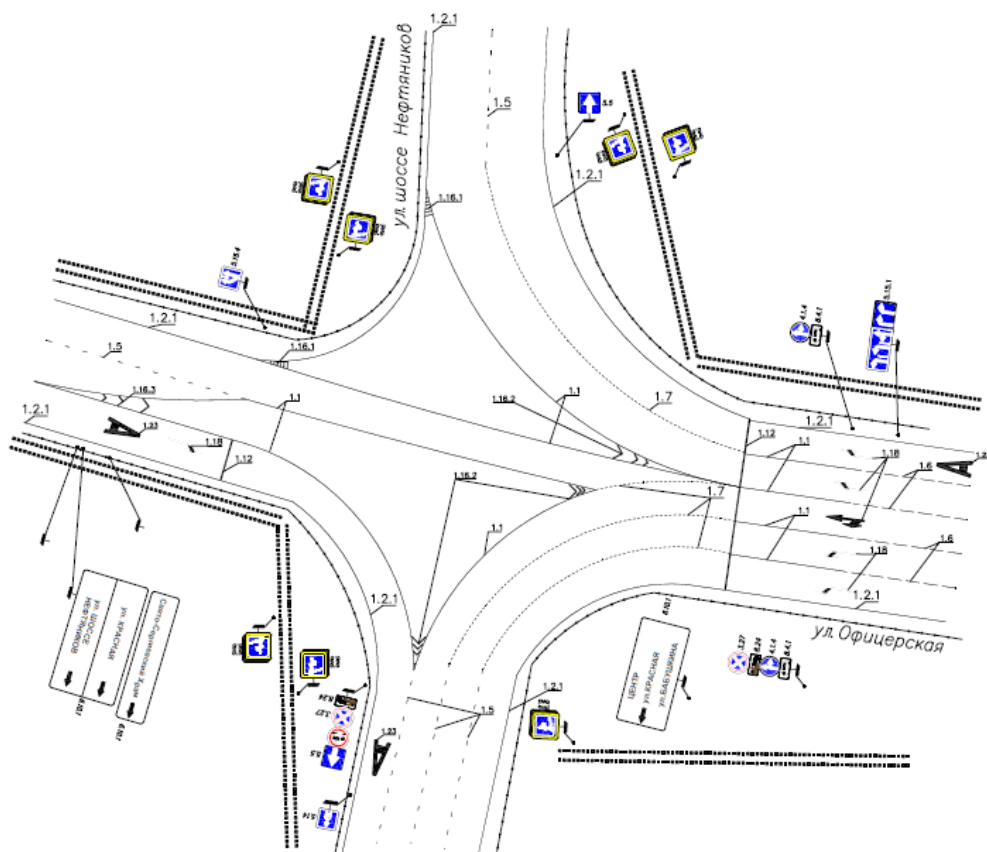


Рис. 10. Предлагаемая схема ОДД на пересечении улиц Офицерская и шоссе Нефтяников [выполнено авторами].

– сделать крайнюю правую полосу (1) выделенной для автобусов, попасть на нее можно будет с выделенной для нее полосы с улицы Офицерской со стороны Дзержинского;

– на 2, 3 и 4 полосы можно будет попасть только с Офицерской со стороны улицы Красной.

В итоге направление остается практически без изменений, но получает специальную полосу для общественного транспорта.

Улица Офицерская со стороны улицы Дзержинского:

– сделать участок дороги от улицы Дзержинского до улицы шоссе Нефтяников двусторонним, в сторону улицы шоссе Нефтяников одну полосу, в противоположную две;

– полосу в сторону улицы шоссе Нефтяников сделать выделенной для автобусов, по полосе можно повернуть только направо в первую полосу улицы шоссе Нефтяников в сторону улицы Красной;

– в первую полосу улицы Офицерской в сторону улицы Дзержинского можно

будет попасть только со стороны улицы Красной, с третьей полосы;

– первую полосу расширить до двух полос, для этого придется расширить дорогу перед пересечением с улицей Дзержинского, которая сейчас двухполосная, начиная от улицы Дзержинского.

В результате реконструкции мы будем иметь двустороннюю улицу с одной полосой в сторону улицы шоссе Нефтяников и двумя полосами в сторону улицы Дзержинского.

Улица шоссе Нефтяников в сторону улицы Лузана:

– исключить возможность выезда на улицу с улицы Офицерской со стороны улицы Дзержинского;

– позволять въезд на улицу только с улицы Офицерской со стороны улицы Красной с первой и второй полос во вторую и первую соответственно;

– перенести остановку общественного транспорта дальше от перекрестка.

В итоге направление останется практически без изменений, а перенос остановки уменьшит затор на перекрестке.



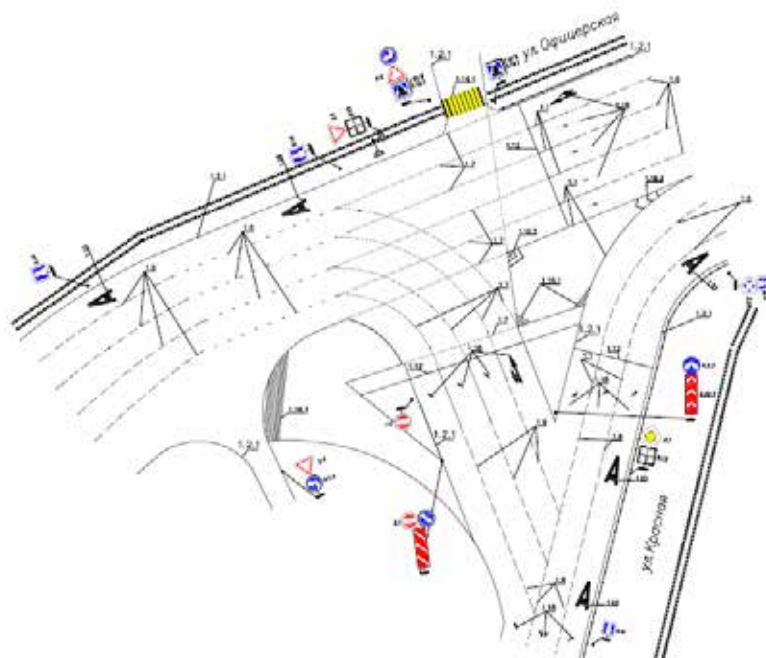


Рис. 11. Предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении улиц Офицерская и Красная [выполнено авторами].

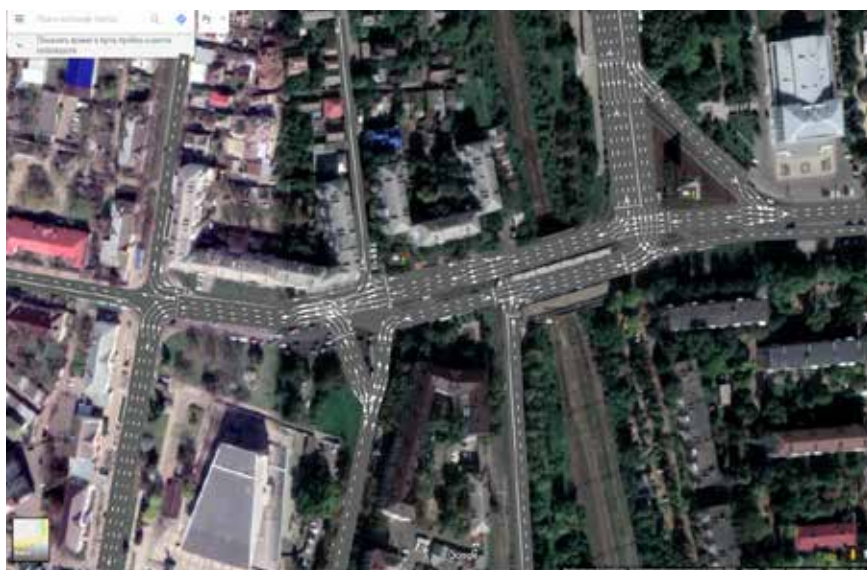


Рис. 12. Предлагаемая схема ОДД на улице Офицерская [выполнено авторами].

Предлагаемая схема ОДД представлена на рис. 10.

Завершающей стадией изменения пересечения улиц Офицерская и Красная может стать реконструкция перекрестка таким образом, чтобы уменьшить количество конфликтных точек [11]. Предлагаемые рекомендации рассмотрим для каждой стороны перекрестка.

Улица Офицерская со стороны улицы Ростовское шоссе:

- сделать участок дороги от улицы Коммунаров до улицы Красной пятиполосным;
- с крайней правой полосы (1) можно будет повернуть направо в Орловский переулок или поехать прямо в первую полосу Офицерской улицы;
- со 2, 3, 4 и 5 полос движение можно будет осуществлять только прямо.

Таким образом, с этого направления можно будет поехать либо прямо, либо в Орловский переулок, как и раньше, но ко-



Рис. 13. Результаты, зафиксированные в AnyLogic за час эксперимента [выполнено авторами, скрин окна программы в процессе эксперимента].

Таблица 1
Сравнение основных показаний, выданных программой AnyLogic
[выполнено авторами]

Время проезда	Кол-во	Среднее	Мин	Макс	Средне-кв. отклонение	Доверит. интервал для среднего	Сумма
До	269	734.665	79.429	1508.19	284.563	34.006	197624.781
После	276	402.051	48.006	1362.975	229.637	27.092	110965.946

личество полос, с которых это можно сделать, будет увеличено и достигнет пяти.

Улица Красная:

- позволить с крайних трех полос (1, 2, 3) беспрепятственный поворот направо, без задержки на светофоре;

- увеличить количество полос для проезда прямо и поворота налево на одну;

- с четвертой полосы разрешить проезд прямо и разрешить поворот налево во вторую полосу улицы Офицерской в сторону улицы шоссе Нефтяников;

- с 5, 6 и 7 полосы разрешить поворот налево в 3, 4 и 5 полосы соответственно

- оставить светофорное регулирование только для проезда прямо и налево.

В итоге направление получит дополнительную полосу для поворота налево и лишится светофорного регулирования для поворота направо в сторону улицы Коммунаров.

Улица Офицерская в сторону улицы шоссе Нефтяников:

- сделать участок дороги от улицы Красной до улицы шоссе Нефтяников односторонним;

- увеличить количество полос движения с 4 до 5;

- во все полосы можно будет попасть с улицы Офицерская, с первой в первую, со второй во вторую и т.д., с улицы Красная

только во вторую, третью, четвертую, пятую полосы, соответственно, а с переулка Орлова – только в первую полосу.

В процессе реконструкции мы получим одностороннюю улицу, на которую можно попасть с любого из оставшихся трех направлений [12].

Предлагаемая схема ОДД представлена на рис. 11.

Все мероприятия, рекомендованные для двух перекрестков улицы Офицерской, будут эффективны, если дополнительно будут приняты следующие изменения:

- на перекрестке улиц Офицерская и Коммунаров будет запрещен поворот с Офицерской улицы со стороны Ростовского шоссе налево на улицу Коммунаров;

- на Колхозной улице добавится полоса для проезда прямо на Офицерскую;

- на Ростовском шоссе добавится полоса для поворота налево на улицу Офицерскую (рис. 12).

В предлагаемых условиях среднее число машин и среднее время проезда этого участка за час отслеживания движения при нынешней интенсивности дорожного движения в программе AnyLogic 8.7.5 оценивается как 3486 автомобилей и 358 секунды (рис. 13).

Сравнение результатов представлено в табл. 1.





При условии выполнения этих рекомендаций можно избавиться от светофора для поворота на улицу Коммунаров с Офицерской улицы со стороны Ростовского шоссе. Таким образом на участке Офицерской улицы от улицы Колхозной до улицы шоссе Нефтяников будут стоять всего три светофора, по два для каждого направления движения.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В результате моделирования системы условия движения индивидуальных транспортных средств ухудшатся или останутся неизменными, а условия движения городского пассажирского транспорта улучшатся. Это может привести к перераспределению пассажиропотока с индивидуальных транспортных средств на подвижной состав городского пассажирского транспорта, в связи с чем потребуются произвести перерасчет транспортных потоков в следующих итерациях (с учетом изменения состава потока) [13].

Таким образом, по итогам проведенного эксперимента можно сделать вывод, что применяя данную методику в крупных городах, можно достичь экономии времени работы пассажирского транспорта [14]. Данная модель применима не только для транспортной системы г. Краснодара, но и для транспортной системы любого города, где выражена необходимость снижения уровня загрузки улично-дорожной сети и сокращения времени перемещения населения по территории города [15].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Домбровский А. Н., Коновалова Т. В., Котенкова И. Н., Сенин И. С. Устойчивое развитие городской транспортной системы: Монография. – Краснодар: ООО «Издательский Дом Юг», 2023. – 232 с. ISBN 978-5-91718-731-0.
2. Богомолов А. А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах / Дисс... канд. техн. наук. – Вологда: ВГТУ, 2002. – 274 с.
3. Пугачев И. Н., Горев А. Э., Солодкий А. И., Белов А. В. Организация дорожного движения. – М.: Академия. – 2013. – 240 с. ISBN 978-5-7695-4789-8.
4. Коновалова Т. В., Домбровский А. Н., Надирян С. Л., Миронова М. П. Оценка эффективности меж-

дународных перевозок в транспортно-логистических системах региона: Монография. – Краснодар: КубГТУ, 2021. – 180 с. ISBN 978-5-91718-672-6.

5. Михайлов А. Ю., Головных И. М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с. ISBN 5-02-032091-9.

6. Боровая К. С., Сиваков В. В., Тихомиров П. В. К вопросу совершенствования маршрутной сети общественного транспорта // Материалы V международной научно-практ. конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса». – Горловка: АДИ ДОННТУ, 2019. – С. 265–267. EDN: XIBLQM.

7. Fadyushin, A., Zakharov, D. Influence of the Parameters of the Bus Lane and the Bus Stop on the Delays of Private and Public Transport. Sustainability, 2020, Vol. 12 (22), 9593. DOI:10.3390/su12229593.

8. Транспортное планирование и моделирование // Сб. трудов II Международной научно-практ. конференции «Транспортное планирование и моделирование». – СПб.: СПбГАСУ. – 2017. – 341 с. ISBN: 978-5-9227-0767-1. [Ссылка на весь сборник].

9. Коновалова Т. В., Сенин И. С., Надирян С. Л., Котенкова И. Н. Анализ транспортных проблем крупных и крупнейших городов // International Journal Of Advanced Studies. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 126–136. DOI: 10.12731/2022-930X-2023-13-1-126-136.

10. Домбровский А. Н., Коновалова Т. В., Котенкова И. Н., Миронова М. П., Надирян С. Л., Сенин И. С. Городская мобильность как фактор устойчивого развития территорий. Монография. – Краснодар: ООО «Издательский Дом - Юг». – 2022. – 208с. ISBN: 978-5-91718-705-1.

11. Сергиенко Н. Л., Лакербай З. К., Короткова Т. Г., Котенкова И. Н., Антипова Ю. О., Заколюкина А. М., Петровская О. А. Социально-экологические аспекты создания комфортной среды на примере краснодарской агломерации: Монография. – Краснодар: КубГТУ. – 2022. – 175 с. ISBN: 978-5-8333-1152-3.

12. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. – М.: Территория будущего. – 2011. – 576 с. ISBN 978-5-91129-058-0.

13. Дацок А. М., Горев А. Э., Попова О. В. Организация скоростного автобусного сообщения и области его применения // Сб. докладов 67-й научной конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов. – В 5 ч. Ч. III. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 250 с. – С. 89–94. ISBN 978-5-9227-0217-1.

14. Коновалова Т. В., Надирян С. Л., Котенкова И. Н. Алгоритм формирования затрат на транспорте с учетом технологии перевозочного процесса // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2023. – № 1. – С. 191–193. DOI: 10.23672/SAE.2023.88.90.001.

15. Коновалова Т. В., Надирян С. Л., Котенкова И. Н. Логистический подход к организации пассажирских перевозок // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – № 4. – 2023. – С. 241–243. EDN: EOFPRY. DOI: 10.23672/SAE.2023.26.93.002. ●

Информация об авторах:

Коновалова Татьяна Вячеславовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры транспортных процессов и технологических комплексов Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, Россия, tan_kon@mail.ru

Надирян София Левоновна – старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, Россия, sofi008008@yandex.ru

Котенкова Ирина Николаевна – старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, Россия, ir-kot83@mail.ru

Сенин Иван Сергеевич – старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, Россия, senin.ivan@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 03.05.2023, одобрена после рецензирования 15.05.2024, принята к публикации 17.05.2024.



Новый подход к определению пропускной способности автомобильной дороги



Алексей Владимирович Толков

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия.
Web of Science Researcher ID: AAE-1850-2019; РИНЦ SPIN-код: 9599-5189; РИНЦ Author ID: 452603.
✉ tolkovaalex@yandex.ru.

Алексей ТОЛКОВ

АННОТАЦИЯ

Целью данной работы является исследование пропускной способности автомобильной дороги, которая зависит от большого числа факторов. Формула, положенная в основу нормативной методики определения пропускной способности, связывает фактическую пропускную способность с максимальной через итоговый коэффициент снижения пропускной способности, состоящий из произведения семнадцати частных коэффициентов.

Согласно этой методике, рекомендуется использовать в расчетах не более шести частных коэффициентов, определяя набор этих частных коэффициентов для каждого конкретного случая. В связи с этим возникает проблема выбора наиболее значимых частных коэффициентов.

В качестве объекта исследования выбрана одна из центральных улиц города Владимира – улица Горького.

Для достижения поставленной цели использовался метод наблюдения, а также были проведены экспериментальные исследования интенсивности движения транспортных средств на рассматриваемой улице.

По длине дороги было выбрано несколько сечений, в которых проводились замеры интенсивности движения и состава транспортного потока в час пик. Определяемый параметр – итоговый коэффициент снижения пропускной

способности дороги. Он рассчитывался для каждой полосы движения в зоне сечения. Затем выполнялось усреднение его значений по четной и нечетной сторонам улицы, а также по длине всей улицы.

В данной работе, в качестве примера, из-за небольшого количества сечений, использована геометрическая интерполяция многочленом Лагранжа. Далее определена максимальная погрешность интерполирования и построены графики зависимостей экспериментальных и интерполированных кривых итогового коэффициента снижения пропускной способности дороги для четной и нечетной сторон улицы, а также по длине всей улицы. Для практических целей следует выбирать такой метод интерполяции, который будет обеспечивать минимальную погрешность. Таким образом, имея математически описанную кривую, можно определить значение итогового коэффициента снижения пропускной способности в любом сечении улицы.

Результатом работы является разработанная методика экспериментального определения пропускной способности дороги, которая позволяет определять итоговый коэффициент снижения пропускной способности конкретной, уже существующей дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, пропускная способность, методика экспериментального определения пропускной способности дороги.

Для цитирования: Толков А. В. Новый подход к определению пропускной способности автомобильной дороги // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-8>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ научных работ и исследований в области организации дорожного движения позволил сделать вывод о недостаточной глубине трудов, связанных с пропускной способностью автомобильных дорог [1; 2; 3].

Пропускная способность автомобильных дорог зависит от большого числа факторов^{1,2} [4]. Нормативным источником по расчету пропускной способности дорог является ОДМ 218.2.020–2012³. Формула, положенная в основу методики определения пропускной способности, связывает фактическую пропускную способность с максимальной через итоговый коэффициент снижения пропускной способности, состоящий из произведения 17 частных коэффициентов [5]. Согласно этой методике, рекомендуется использовать в расчетах не более шести частных коэффициентов [6], определяя набор этих частных коэффициентов для каждого конкретного случая. И вот здесь как раз и возникает проблема выбора наиболее значимых частных коэффициентов.

Целью данной работы является исследование пропускной способности автомобильной дороги. В качестве объекта исследования выбрана одна из центральных улиц города Владимира – улица Горького.

В качестве *методов* исследования применялся метод наблюдения, а также были проведены экспериментальные исследования интенсивности движения транспортных средств на рассматриваемой улице.

МЕТОДИКА

По длине дороги было выбрано несколько сечений, в которых проводились замеры интенсивности движения и состава транспортного потока в час пик.

Определяемый параметр – итоговый коэффициент снижения пропускной способности дороги (β) [6]. Он рассчитывался для каждой полосы движения в зоне сечения. Затем вы-

полнялось усреднение его значений по четной и нечетной сторонам улицы, а также по длине всей улицы.

В данной работе, в качестве примера, из-за небольшого количества точек кривой β , использована геометрическая интерполяция многочленом Лагранжа. Далее определена максимальная погрешность интерполирования и построены графики зависимостей экспериментальных и интерполированных кривых β для четной и нечетной сторон улицы, а также по длине всей улицы. Для практических целей следует выбирать такой метод интерполяции, который будет обеспечивать минимальную погрешность.

Таким образом, имея математически описанную кривую, можно определить значение β в любом сечении улицы.

Более подробно методика экспериментального определения пропускной способности автомобильной дороги выглядит следующим образом:

1. Сбор исходных данных:

1.1. Определение количества сечений по четной ($K_{\text{ч}}$) и нечетной сторонам ($K_{\text{нч}}$) улицы.

1.2. Определение количества полос движения в каждом сечении (n) [7; 8].

1.3. Определение максимальной практической пропускной способности (P_{max})¹.

1.4. Определение времени часа пик ($t_{\text{чп}}$) [9; 10].

1.5. Определение интервала времени наблюдения (Δt) [11; 12].

1.6. Определение расстояния между сечениями по четной и нечетной сторонам улицы ($x_0, x_1, \dots, x_{K_{\text{ч}}(K_{\text{нч}}-1)}$).

2. Выполнение подсчетов интенсивности движения транспортных средств (N) в каждом сечении и ее приведение [13–15].

3. Принимается допущение, что фактическая пропускная способность равна измеренной интенсивности движения ($P = N$), так как замеры интенсивности движения проводились в час пик.

4. Выполнение расчета β по формуле (1)¹: $\beta = P / P_{\text{max}}$,

где P – фактическая пропускная способность, приведенных авт./ч.:

– для каждой полосы движения в сечении ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$);

– для четной ($\beta_{1\text{ч}}, \beta_{2\text{ч}}, \dots, \beta_{K_{\text{ч}}}$) и нечетной ($\beta_{1\text{нч}}, \beta_{2\text{нч}}, \dots, \beta_{K_{\text{нч}}}$) стороны улицы в каждом сечении путем усреднения β по полосам движения;

¹ Толков А. В. Совершенствование дорожного движения на перекрестках: Учеб. пособие. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 180 с. ISBN 978-5-9984-0852-6.

² Толков А. В. Выпускная квалификационная работа магистра: Учеб. пособие. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2021. – 128 с. ISBN 978-5-9984-1403-9.

³ ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Федер. дорож. агентство. – М.: Росавтодор, 2012. – 148 с.

Таблица 1

Расчет β по полосам [выполнено автором]

ОП	Сторона улицы	Номер полосы	P_{max} , легк. авт./ч	P , прив. авт./ч	β
1-й р. Содышка	Четная	1	2300	204	0,089
		2	2300	734	0,319
		3	2300	512	0,223
	Нечетная	1	2300	142	0,062
		2	2300	607	0,264
		3	2300	581	0,253
2-й ул. Гастелло	Четная	1	2200	307	0,140
		2	2200	639	0,290
	Нечетная	1	2200	596	0,271
		2	2200	385	0,175
3-й ВлГУ	Четная	1	2200	578	0,263
		2	2200	597	0,271
	Нечетная	1	2200	827	0,376
		2	2200	508	0,231
4-й Площадь им. В. И. Ленина	Четная	1	2200	533	0,242
		2	2200	551	0,250
	Нечетная	1	2200	569	0,259
		2	2200	565	0,257
5-й Всполье	Четная	1	2200	607	0,276
		2	2200	506	0,230
	Нечетная	1	2200	664	0,302
		2	2200	669	0,304
6-й Юрьевская застава	Четная	1	2200	346	0,157
		2	2200	441	0,200
	Нечетная	1	2200	587	0,267
		2	2200	1027	0,467

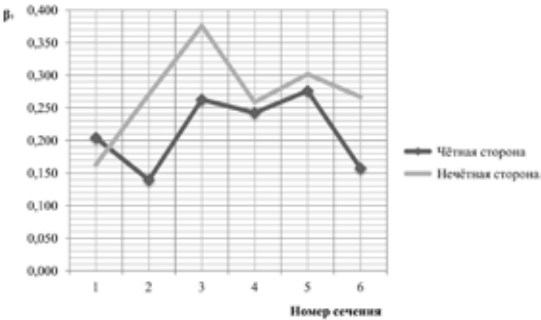


Рис. 2. График распределения β_1 по первым полосам улицы [выполнено автором].

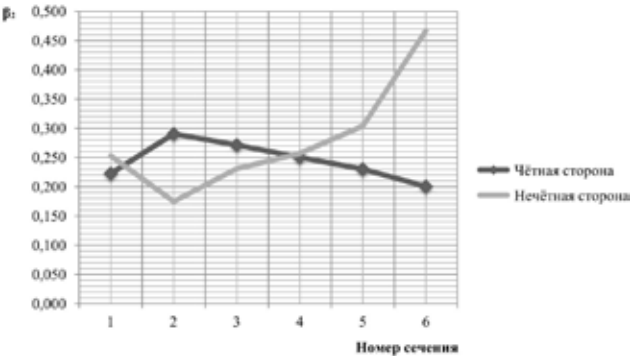


Рис. 3. График распределения β_2 по вторым полосам улицы [выполнено автором].

Таблица 2

Исходные данные для системы уравнений интерполяции [выполнено автором]

По всей улице					
x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
0,00 км	0,53 км	0,95 км	1,60 км	2,15 км	2,65 км
β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
0,201	0,219	0,285	0,252	0,278	0,273

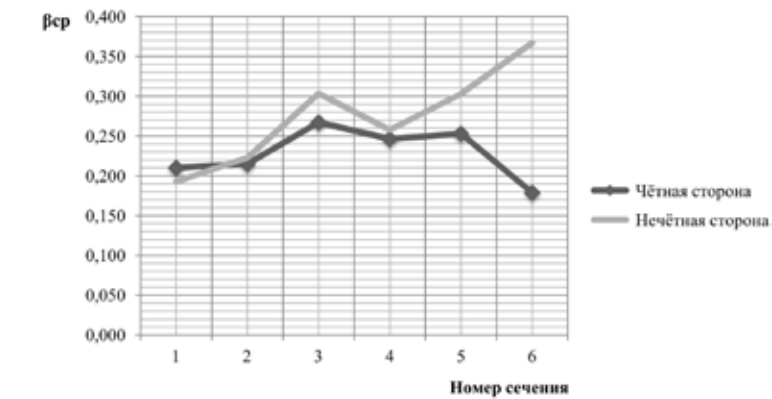


Рис. 4. График распределения коэффициента $\beta_{ср}$ по четной и нечетной сторонам улицы [выполнено автором].

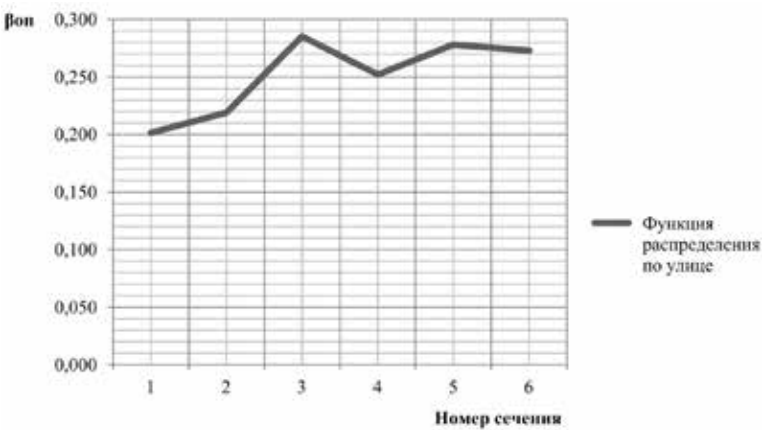


Рис. 5. График распределения коэффициента $\beta_{оп}$ по всей улице [выполнено автором].

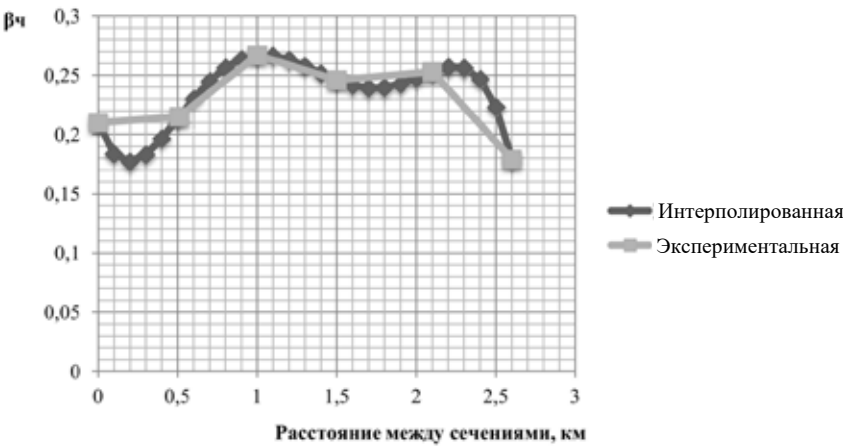


Рис. 6. Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых $\beta_{ч}$ по четной стороне улицы [выполнено автором].



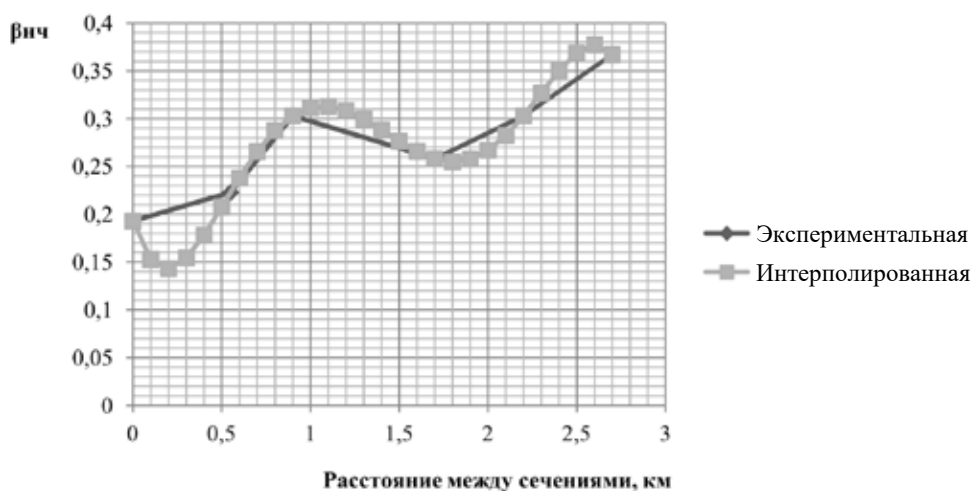


Рис. 7. Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых β по нечетной стороне улицы [выполнено автором].

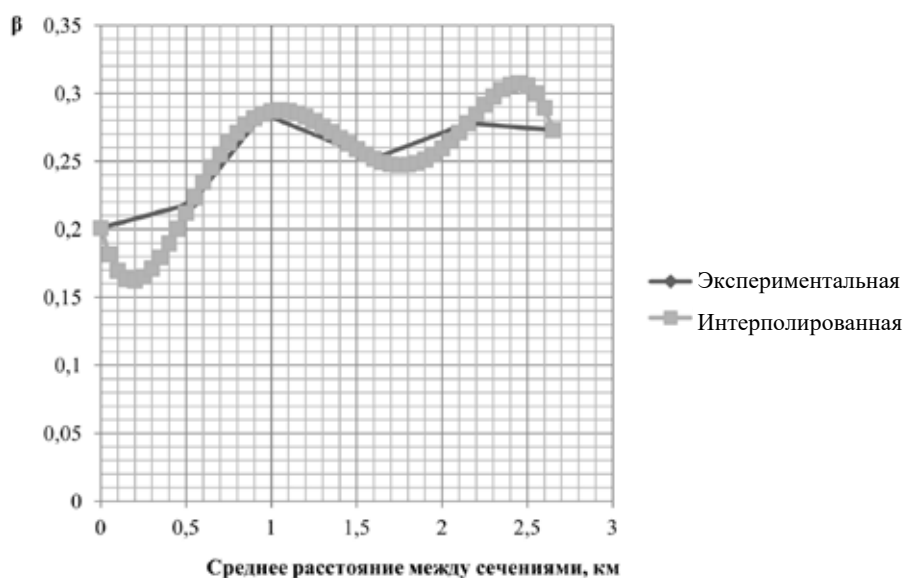


Рис. 8. Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых β , полученных по длине улицы Горького [выполнено автором].

а также соответствующие этим сечениям значения β (табл. 2).

Далее для автоматизации расчетов были написаны программы в MATLAB.

Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых β по четной стороне улицы приведено на рис. 6.

Погрешность составила $\Delta x_{\max} = |x_{\text{инт}} - x_{\text{эсп}}| = 0,043$ (21,3 %).

Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых распределения β , полученного по нечетной стороне улицы, приведено на рис. 7.

Погрешность составила $\Delta x_{\max} = |x_{\text{инт}} - x_{\text{эсп}}| = 0,0617$ (30,0 %).

Сравнение экспериментальной и интерполированной кривых распределения β , полученных по длине улицы Горького, приведено на рис. 8.

Максимальная погрешность интерполирования составила $\Delta x_{\max} = |x_{\text{инт}} - x_{\text{эсп}}| = 0,0477$ (22,7 %).

ВЫВОДЫ

Разработана методика, позволяющая определять итоговый коэффициент снижения

пропускной способности отдельной дороги (улицы) при конкретных дорожных условиях и составе транспортного потока. Данный показатель определяется как отношение фактической пропускной способности дороги к максимальной практической пропускной способности. Суть методики заключается в получении фактической кривой распределения итогового коэффициента снижения пропускной способности по длине конкретной дороги и сравнением ее с кривой, полученной с помощью метода интерполирования (математическим описанием фактической кривой). Критерием точности методики является погрешность интерполирования. Имея математически описанную кривую, можно определить значение итогового коэффициента снижения пропускной способности в любом сечении улицы.

Разработаны рекомендации для снижения погрешности методики, заключающиеся в увеличении количества сечений (пунктов наблюдения) по длине дороги, в увеличении общего времени наблюдения за транспортными потоками (для получения большего объема данных), в уменьшении интервала времени фиксации транспортных средств (для получения более точной картины изменения интенсивности транспортных потоков во времени), в выборе более точного метода измерения расстояний между сечениями и метода интерполирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Локтионова А. Г., Шевцова А. Г., Копылова Е. В., Щетинин Н. А. Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3–4 (82). – С. 47–53. EDN: EDWVUI.
2. Исаков К. И., Стасенко Л. Н., Алтыбаев А. Ш., Дайырбекова Д. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. – 2019. – № 16 (2). – С. 146–155. EDN: ZGXJIF.
3. Волченко С. В. Повышение пропускной способности УДС на основе оценки взаимодействия транспортных потоков с городскими магистралями / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Волгоград: ВолГАСУ, 2014. – 24 с. [Электронный ресурс]: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl010>

05553696?page=1&rotate=0&theme=white. Доступ 22.12.2023. EDN: XAWLTQ.

4. Волченко С. В. Повышение пропускной способности городских дорог на основе оценки скоростного режима транспортных потоков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. – 2013. – № 32 (51). – С. 153–159. EDN: RUGTPH.

5. Алексиков С. В., Беликов Г. И., Пшеничкина В. А., Волченко С. В. Повышение скорости автотранспорта на основе регулирования движения по «зеленой волне» // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политехническая. – 2013. – № 2 (27). [Электронный ресурс]: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AleksikovBelikovPshenichkinaVolchenko1-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AleksikovBelikovPshenichkinaVolchenko1-2013_2(27).pdf). Доступ 22.12.2023.

6. Волченко С. В. Методы снижения коэффициента загрузки на регулируемых пересечениях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура. – 2009. – № 13 (32). – С. 74–77. EDN: KWMLXB.

7. Шевцова А. Г., Бурлуцкая А. Г., Юнг А. А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 126–134. EDN: DBSYGJ.

8. Локтионова А. Г., Шевцова А. Г. Оценка технических параметров автомобилей в транспортном потоке // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4–2 (79). – С. 75–80. EDN: ZLVDRN.

9. Локтионова А. Г., Шевцова А. Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–2 (80). – С. 37–42. EDN: AUSIDO.

10. Локтионова А. Г. Повышение эффективности светофорного регулирования с учетом изменения динамических показателей автотранспортных средств / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Орел: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2023. – 24 с. [Электронный ресурс]: https://oreluniver.ru/public/file/defence/a_Loktionova_Alina_Gennadevna_28.02.2024.pdf. Доступ 05.03.2024.

11. Дорохин С. В., Артемов А. Ю. Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 1–1 (80). – С. 60–67. EDN: EOYCCJ.

12. Дорохин С. В., Артемов А. Ю. Способ оценки эффективности работы координированного типа управления на магистральной улице // Вестник СибАДИ. – 2023. – № 5 (93). – С. 586–599. EDN: OHGMZO.

13. Артемов А. Ю. Исследование управления транспортными потоками на магистральном участке в г. Павловск // Воронежский научно-технический Вестник. – 2023. – Т. 1. – № 1 (43). – С. 107–116. EDN: VQJWYE.

14. Дорохин С. В., Артемов А. Ю. Оценка эффективности работы координируемого участка // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 2. – № 2 (40). – С. 64–73. EDN: KZHQHF.

15. Артемов А. Ю. Повышение эффективности управления транспортными потоками на магистральных улицах малых и средних городов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Орел: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2023. – 24 с. [Электронный ресурс]: https://oreluniver.ru/public/file/defence/a_Artemov_Aleksandr_YUrevich_28.02.2024.pdf. Доступ 05.03.2024. ●

Информация об авторе:

Толков Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, безопасности и управления качеством Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия, tolkovaalex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 26.10.2023, одобрена после рецензирования 05.02.2024, актуализирована 05.03.2024, принята к публикации 12.03.2024.





Изменение принципов международных экономических отношений как фактор развития международного транспортного коридора «Север – Юг»



Андрей Владимирович Джангириян

ОАО «Российские железные дороги», Москва, Россия.

✉ avd93@mail.ru.

Андрей ДЖАНГИРЯН

АННОТАЦИЯ

В условиях продолжающегося изменения направлений грузопотоков, проходящих по территории Российской Федерации, а также переосмысления основных принципов регулирования мировой торговли дополнительный интерес представляет изучение влияния указанных процессов на динамику реализации проектов развития международного транспортного коридора «Север – Юг».

Анализируются основные причины и тенденции изменения принципов международных экономических отношений. Отмечены перспективы развития и растущая востребован-

ность МТК «Север – Юг», важность создания действенных механизмов опережающего привлечения инвестиционных ресурсов в целях обеспечения новых проектов развития коридора источниками финансирования. Предлагаются подходы по соответствующей адаптации процесса подготовки инвестиционных проектов, направленных на развитие инфраструктуры МТК «Север – Юг». Отмечается важность проведения дальнейших исследований, нацеленных на повышение экономической эффективности проектирования, строительства и эксплуатации этого коридора.

Ключевые слова: принципы международных экономических отношений, транспорт, МТК «Север – Юг», инвестиционные проекты, финансирование, иностранные инвесторы, транспортная политика.

Для цитирования: Джангириян А. В. Изменение принципов международных экономических отношений как фактор развития международного транспортного коридора «Север – Юг» // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 88–91. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-9>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article translated into English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Точкой отсчета в процессе трансформации принципов международных экономических отношений считается 2016 год. Переход от ранее доминировавшей парадигмы глобализации мировой экономики к формированию двусторонних межгосударственных экономических связей, инициированный крупнейшей мировой экономикой, спровоцировал ослабление ранее применявшихся норм международных экономических отношений (МЭО).

Традиционными столпами в области международных экономических отношениях считались неконфронтационность, свободное движение трудовых ресурсов и капиталов, объективность, взаимовыгодность. Материализация указанных основ произошла, в том числе, в принципах Всемирной торговой организации, включивших:

- принцип наибольшего благоприятствования, закрепляющий недискриминационный режим по отношению к «товарам и поставщикам из иностранных государств-членов организации» [1];
- принцип транспарентности, предполагающий неприменение неопубликованных нормативно-правовых актов к иностранным поставщикам товаров и услуг;
- принцип национального режима, закрепляющий недискриминационный режим для иностранных товаров и услуг по сравнению с национальными участниками рынка.

В то же время в целях создания односторонних преимуществ для собственной национальной экономики ряд государств стал активно применять механизм тарифов и пошлин в целях защиты внутреннего рынка от более конкурентоспособных экономик. Такой феномен был описан еще в классической немецкой экономической теории. Свою известность за развитие теории протекционизма получил Ф. Лист, сформулировавший пять этапов развития каждой страны:

- «дикий,
- пастушеский,
- сельскохозяйственный,
- сельскохозяйственно-промышленный,
- сельскохозяйственно-промышленно-торговый» [2].

В то же время необходимо отметить, что немецкий ученый, на которого часто ссылаются приверженцы протекционистских подходов, указывал на целесообразность применения покровительственных пошлин исключительно при переходе от сельскохозяйственного строя к промышленному, полагая, что барьеры на пути международной торговли неуместны.

Указанная тенденция получила дополнительное развитие с началом активного применения механизма санкционных ограничений. Если в контексте тарифов и пошлин можно говорить о необходимости поддержки национальных производителей в периоды «сложной экономической ситуации» [3] и применения демпинговых механизмов со стороны иностранных государств, то цель санкционной политики – повлиять на развитие отдельных отраслей экономики зарубежных стран. Указанная политика создает барьеры для мировой торговли и прямо влияет на темпы мирового экономического роста за счет возникающих проблем с «финансированием новых проектов» [4], поставкой товаров и услуг, их перемещением через государственную границу.

В этих условиях можно говорить о витке регионализации мировой экономики, когда игнорирование норм и правил ВТО совпадает с активным развитием региональных экономических объединений, «на коллективной основе» [5] применяющих тарифы и пошлины. Примером является обсуждение введения временных тарифов на китайский импорт, в том числе, на электромобили, произведенные в КНР¹.

Цель исследования, основные результаты которого изложены в статье, состоит в анализе влияния трансформации основных принципов регулирования мировой торговли на реализацию крупных межрегиональных транспортно-инфраструктурных проектов на примере развития международного транспортного коридора (МТК) «Север – Юг». В качестве основного инструмента исследования использованы экономический сравнительный анализ, а также факторный и системный методы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Санкционное давление, применение заградительных пошлин в значительной степени оказали влияние и на вектор развития транспортной составляющей российской экономики. Радикальная деградация экономических отношений с крупнейшим партнером – Европейским Союзом и переориентация экспортно-импортных потоков с направления Восток – Запад на МТК Север – Юг отразились на приоритетах развития национальной транспортной системы.

Основным компонентом международных транспортных коридоров на территории Российской Федерации является железнодорожная составляющая

¹ EU Goes on China Trade Offensive After Getting 'Played' [Электронный ресурс]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-04-15/eu-goes-on-china-trade-offensive-after-getting-played-for-years>. Доступ 15.04.2024.



шая. Российская железнодорожная система, благодаря реализуемым ОАО «РЖД» мероприятиям по развитию МТК, проходящих по территории страны, смогла справиться с этими изменениями, определив создание условий «для дальнейшего роста внешнеторгового грузопотока» [6] в качестве приоритетной задачи. Начиная с 2022 года в части железнодорожного транспорта можно констатировать динамично происходящее изменение направлений международных грузопотоков. Активно развивается железнодорожное сообщение с дружественными странами, доля которых в общем объеме экспорта в 2023 году превысила 81 %. По некоторым из направлений отмечается прирост грузоперевозок в два-три раза².

Основными направлениями перевозки международных грузов являются подходы к портам Северо-Запада, Азово-Черноморского бассейна и Восточное направление, включая Восточный полигон. Однако в новых условиях приоритетное значение отводится и «развитию международного транспортного коридора «Север – Юг» [7]. Прирост объемов перевозок грузов констатируется на всех ветвях коридора (Западный, Восточный и Транскаспийский маршруты)³. По железной дороге в 2023 году по коридору «Север – Юг» ушло 11,59 млн т грузов по сравнению с 10,21 млн т в 2022 году⁴. Первоочередными мероприятиями по этой причине становятся развитие железнодорожного пункта пропуска Дербент и перевод участка Дербент – Самур на систему тяги переменного тока, а также строительство железнодорожного участка Решт – Астара.

На значительный потенциал МТК «Север – Юг» и различные аспекты его развития указывает целый ряд авторов [8–11].

В таких условиях потребность в реализации новых проектов развития коридора будет только нарастать. Это предполагает необходимость привлечения к их осуществлению частного капитала заинтересованных сторон. С точки зрения влияния процессов мировой экономической трансформации наиболее подверженными ей элемен-

тами оценки проектов будут выступать система оценки рисков и гарантии возвратности вложенного капитала.

Обеспечение возвратности в проектах государственно-частного партнерства, наиболее распространенном формате реализации проектов развития транспортной инфраструктуры с привлечением частного капитала, в описанных новых экономических реалиях может достигаться следующими способами.

Во-первых, это гарантирование государством финансовой устойчивости проекта при условии изменения экономических условий в стране. Оно может быть реализовано посредством гарантирования государством платы за предоставление инфраструктуры, вне зависимости от степени ее загруженности; содействия применению механизма «бери или плати» в отношениях между перевозчиком и грузоотправителем; субсидирования государством тарифов на перевозки в условиях негативной конъюнктуры рынка перевозок, сформировавшейся не по вине перевозчика.

Во-вторых, в случае существенного влияния санкционных ограничений на параметры проекта, может быть предусмотрен механизм досрочной его передачи в периметр государства со справедливым возмещением понесенных инвесторами затрат на его реализацию или увеличения номинальной доли в проекте со стороны государства путем дополнительной эмиссии, не приводящей к изменению процесса управления проектом.

Важнейшим фактором возвратности проектов, обеспечивающих хозяйственные взаимосвязи между государствами в условиях изменения принципов международных экономических отношений, приводящих к смене направлений грузоперевозок, является гарантирование государством применения недискриминационных мер регулирования и поддержки в отношении различных секторов транспортного комплекса.

Оценку рисков проекта развития транспортной инфраструктуры МТК «Север – Юг» в равной степени необходимо адаптировать к модификациям МЭО. Такой подход во многом сопрягается с концепцией многокритериальной оценки при принятии решений в транспортной политике [12].

Так, принимая за основу систему оценки рисков, базирующуюся на стадиях реализации проекта («стадия строительства, стадия эксплуатации» [9]), требуется по итогам каждого этапа дополнять итоги оценки корректировками на риск контрагента, которым и будет выступать государство,

² В РЖД отметили рост объема международных грузоперевозок в 2023 году. РБК. 19.03.2024. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/industries/news/65f9b0c69a79472fbbdbeb04>. Доступ 10.04.2024.

³ Объем грузовых перевозок по МТК «Север – Юг» с начала 2023 года // Сайт ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=213166&ysclid=m20i6vytrw149477316>. Доступ 10.04.2024.

⁴ Объем морских грузоперевозок по МТК «Север-Юг» вырос на 55 % за 2023 год. Морские вести России. 12.02.2024. [Электронный ресурс]: <https://morvesti.ru/news/1678/107534/>. Доступ 10.04.2024.

абсорбируя одновременно страновой и геополитический риски. В этом контексте, проводя корректировку, необходимо описать риск-сценарии, а также проиндексировать их в зависимости от степени влияния на проект и вероятности реализации. К категориям рисков, которые подлежат учету в проектах развития МТК «Север – Юг», целесообразно относить:

- санкции в отношении грузоотправителей; банковских учреждений, работающих с ними; логистических операторов,
- конвенционные ограничения, принимаемые из политических соображений, оказывающие средне-долгосрочное влияние на объемы перевозок,
- военно-политическая обстановка,
- отказ государства от продолжения реализации проекта,
- неисполнение государством своих обязательств ввиду отсутствия свободных средств в бюджете.

Каждый проект коридора будет иметь свою индексацию по указанным параметрам, которая позволит вывести параметр для корректировки результатов оценки рисков.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В целом, рост востребованности МТК «Север – Юг» как важного фактора транспортно-логистической связанности является демонстрацией продуктивной адаптации крупных транспортно-инфраструктурных и логистических проектов к процессу изменения принципов МЭО и складывающимся в результате условиям.

Важной задачей в указанном контексте является трансформация элементов экономической оценки проектов транспортного коридора в целях обеспечения его привлекательности для частных инвесторов, чей капитал является необходимым условием интенсивного развития МТК «Север – Юг».

Элементами, требующими наибольшего внимания, в этом контексте являются механизм обеспечения возвратности инвестиций и оценки проектных рисков, а также подходы по их доработке в складывающихся условиях.

Подготовленные на этой основе предложения могут быть имплементированы в практику проектного управления крупных инфраструктурных

компаний и формирования государственной политики в области развития МТК «Север – Юг».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чернышева Н. А. Россия в ВТО: проблемы и перспективы. – М.: «МГИМО-Университет», 2013. – 232с. ISBN 978-5-9228-0954-2.
2. Лист Ф. Национальная система политической экономии. – С-Пб.: Изд. А. Э. Мертенса, 1891. – 452 с. – С. 131–133.
3. Гармашова Е. П., Дребот А. М., Баранов А. Г., Митус А. А., Тарабардина М. Ю. Санкции как меры международного принуждения: основные виды и теоретические подходы к понятию // Экономические отношения. – 2020. – Т. 10. – № 3. – С. 649–662. DOI: 10.18334/eo.10.3.110824.
4. Головин Ар. А., Головин А. А., Пархомчук М. А. Последствия мировых экономических санкций для национальной экономики // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 11–2. – С. 216–221. EDN: YPSKNJ.
5. Курдюков Г. И. Международные экономические санкции (применение в практике Совета Безопасности ООН) // Марийский юридический вестник. – 2001. – Т. 1. – № 1. – С. 170–176. EDN: UKKRFH.
6. Мачерет Д. А., Разуваев А. Д., Ледней А. Ю. Долгосрочный ретроспективный анализ неравномерности погрузки грузов на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. – 2022. – № 1–2 (98–99). – С. 31–35. EDN: DWAVBR.
7. Джангириян А. В. Рост транзитных грузопотоков как ключевой стимул развития транспортной инфраструктуры в современных условиях // Труды Международной научно-практ. конференции. Современные экономические проблемы развития и эксплуатации транспортной инфраструктуры. – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – С. 24–27. EDN: VXDODA.
8. Тихомиров А. А., Мартышкин Р. В. Основные векторы развития транспортной инфраструктуры МТК «Север – Юг» в новых макроэкономических условиях // Вестник транспорта. – 2022. – № 11. – С. 23–24. EDN: LCVMSG.
9. Лузянин С. Г., Семенова Н. К. Международный коридор «Север – Юг»: транспортный проект или большая геополитика? // Азия и Африка сегодня. – 2023. – № 12. – С. 5–14. DOI: 10.31857/S032150750029003-5.
10. Минеев В. И., Почекаев Д. А. Перегрузка международного транспортного коридора «Север – Юг» // Научные проблемы водного транспорта. – 2023. – № 74. – С. 105–116. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.350>.
11. Захаров А. И. Международный транспортный коридор «Север – Юг»: вызовы и возможности для развития транспортной связности между Россией и Индией // Вестник МГИМО-Университета. – 2023. – № 16 (2). – С. 216–234. DOI: <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2023-2-89-216-234>.
12. Карлов А. В. Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 1. – С. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>.
13. Джангириян А. В. Формирование риск-профиля при экономической оценке проекта строительства железнодорожной инфраструктуры // Транспортное дело России. – 2022. – № 4 (161). – С. 3–4. DOI: 10.52375/20728689_2022_4_3.

Информация об авторе:

Джангириян Андрей Владимирович – советник заместителя генерального директора ОАО «Российские железные дороги», Москва, Россия, avd93@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.04.2024, одобрена после рецензирования 16.05.2024, принята к публикации 17.05.2024.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.009.341.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-10>



Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 92–95.

Большое Евразийское партнерство – «большой» шанс для транспортной отрасли России?



Роман ПАРХОМЕНКО



Ирина БЫКОВА

*Роман Николаевич Пархоменко¹,
Ирина Валентиновна Быкова²*

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

✉ ² irabyk80@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются приоритеты Транспортной стратегии Российской Федерации в контексте формирования «Большого Евразийского партнерства». Ключевым направлением является развитие международных транспортных коридоров в Евразии.

Авторы, обобщая в кратком обзоре документы, собственные публикации и работы других авторов на эту тему, делают акцент на процессе планомерного продвижения в повестку дня международных организаций вопросов евро-азиатской транспортной связуемости, вкладе в этот процесс Российской Федерации.

Ключевые слова: Большое Евразийское партнерство, транспортная стратегия, международные транспортные коридоры, евро-азиатская транспортная связуемость.

Для цитирования: Пархоменко Р. Н., Быкова И. В. Большое Евразийское партнерство – «большой» шанс для транспортной отрасли России? // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 92–95. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-10>

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

На фоне усиления интеграционных процессов в мире, Россия, выступающая за синергию национальных и международных проектов развития при соблюдении баланса интересов всех участников, выдвинула стратегическую инициативу по формированию Большого Евразийского партнерства, которая предусматривает налаживание многостороннего сотрудничества стран-участниц Евразийского экономического союза, Шанхайской организации сотрудничества, Ассоциации государств Юго-Восточной Азии [1]. Как отмечается, «российская инициатива предполагает формирование совокупности национальных и региональных интеграционных стратегий и проектов, развивающихся скоординировано в интересах мира, безопасности и процветания народов Евразии»¹. Речь также идет и о сопряжении с китайской инициативой «Один пояс, Один путь», объединяющей проекты Экономического пояса Шелкового пути и Морского Шелкового пути XXI века.

Как ранее отмечалось, «потенциал «Большой Евразии» не ограничивается только экономической интеграцией. Данная концепция может выступить и в качестве стратегии преодоления глобального кризиса, формирования устойчивого многополярного мироустройства на базе диалога цивилизаций. В этом контексте можно говорить, что концепция «Большого евразийского партнерства» выступает в качестве «интеграции интеграций»» [1]. В выступлении Президента Российской Федерации В. В. Путина на Международном форуме «Один пояс, один путь» 14 мая 2017 года было подчеркнуто, что «... Большая Евразия – это не абстрактная геополитическая схема, а, без всякого преувеличения, действительно цивилизационный проект, устремленный в будущее»².

С точки зрения отраслевой структуры БЕП могло бы включать следующие компоненты:

– Сеть международных торговых и инвестиционных соглашений;

- Общее транспортное пространство;
- Единая сеть экономических коридоров и зон развития;
- Цифровое измерение;
- Энергетическое пространство;
- Финансовое измерение³.

Проект реализуется по множеству треков.

Среди них, например, образовательный. Примером успешной деятельности на этом направлении стало проведение 25 сентября 2023 года Образовательного форума Большого Евразийского партнерства. Форум был организован в рамках Международной партнерской недели НИУ ВШЭ, приурочен к председательству Российской Федерации в органах ЕАЭС и «направлен на сопряжение стратегий и инициатив его участников в области образования, науки и технологий. В форуме приняли участие представители 23 стран и более 40 научных и образовательных организаций»⁴.

Современная высокотехнологичная транспортная сеть является неотъемлемым элементом, способствующим углублению современной евразийской интеграции. В этой связи транспортная сфера неизменно фигурирует в качестве приоритета Большого Евразийского партнерства. Как справедливо отмечается, «транспортная система – каркас любой экономики для наращивания внешнеторговых потоков. Россия, занимающая 1/7 мировой суши и расположившаяся вдоль всего евразийского континента, способна предложить широкий набор конкурентоспособных авиа-, автомобильных, железнодорожных и морских маршрутов всеми видами транспорта. Ведется системная работа по развитию транспортной инфраструктуры в направлениях «Восток-Запад» и «Север-Юг»... Хорошие перспективы для коммерческой эксплуатации имеет Северный морской путь»³. В целом, в силу своего географического положения и масштаба Россия обладает значительным транзитным потенциалом в обеспечении евро-азиатских транспортных связей.

В этой связи особое значение приобретает понятие «транспортной связуемости»

¹ Большое Евразийское партнерство: взгляд с Востока и Запада. Проект. Конкурс Президентских грантов. [Электронный ресурс]: <https://xn-80afcdbalict6afooklqi5o.xn-p1ai/public/application/item?id=a043d464-2eac-42dea275-706fb8c3d858>. Доступ 30.05.2023.

² Выступление В. В. Путина на Международном форуме «Один пояс, один путь». Администрация Президента Российской Федерации: официальный сайт. [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/54491>. Доступ 04.04.2021.

³ О российской инициативе Большого Евразийского партнерства. [Электронный ресурс]: https://www.mid.ru/ru/activity/COORDINATING_and_advisory_body/head_of_subjects_council/materialy-o-vypolnenii-rekomendacii-zasedaniij-sgs/xxxvi-zasedanie-sgs/1767070/. Доступ 30.10.2023.

⁴ В НИУ ВШЭ прошел Образовательный форум Большого Евразийского партнерства. [Электронный ресурс]: <https://www.hse.ru/gepf2023/#news>. Доступ 30.10.2023.



или «транспортной связанности». Данный термин прочно закрепился в повестке дня международных организаций и двухсторонних встреч, в том числе на самом высоком государственном уровне⁵.

Отражением того, что «концепция Большого Евразийского партнерства исходит из того, что торгово-экономические связи являются ключевым инструментом объединения стран Евразии и сопряжения интеграционных проектов на всем обширном евразийском пространстве» [2], является включение в число приоритетов транспортного комплекса Российской Федерации евразийской экономической интеграции.

В утвержденной в ноябре 2021 года Правительством Российской Федерации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года отмечается необходимость реализации транзитного потенциала нашей страны через опережающее развитие транспортной инфраструктуры, а также использование географических особенностей Российской Федерации в качестве конкурентного преимущества⁶. Также одной из задач Транспортной стратегии Российской Федерации является «эффективное обслуживание внешней торговли Российской Федерации, развитие экспорта транспортных услуг и развитие международного сотрудничества»⁶.

Важным направлением является реализация скоординированной (согласованной) транспортной политики в рамках Евразийского экономического союза, который можно рассматривать в качестве ключевого центра формирования интеграционного контура Большого евразийского партнерства.

Системная работа проводится по продвижению инициатив по развитию евро-азиат-

ских транспортных связей, внедрению цифровых технологий в транспортно-логистический процесс в рамках таких международных организаций, как ЭСКАТО, ШОС, АСЕАН. В частности, по инициативе Российской Федерации международный транспортный маршрут «Европа – Западный Китай» был включен в Перечень маршрутов Азиатских автомобильных дорог, утвержденный Межправительственным соглашением ЭСКАТО по сети Азиатских автомобильных дорог⁷. При активном участии российских экспертов реализован проект технического содействия ЭСКАТО «Повышение эффективности интермодальных транспортных перевозок в Азии путем развития координационных мер в поддержку сбалансированного учета экономических, социальных и экологических факторов»⁸. В рамках проекта был проведен сравнительный анализ четырех интермодальных транспортных коридоров и существующих механизмов координации перевозок. По итогам исследования было принято решение сконцентрировать проектную работу на международном транспортном коридоре «Север – Юг»⁸.

Многие исследователи отмечают большой потенциал расширения международных транспортных коридоров как основу для развития Большого Евразийского партнерства (напр.: [3]). Резонно отмечается, что «вслед за созданием МТК начинает развиваться сопутствующая инфраструктура, промышленное производство в прилегающих областях, таможенное регулирование – такие коридоры являются мощным импульсом для развития целого ряда отраслей. К тому же эффективные и взаимовыгодные совместные инфраструктурные проекты являются весомой гарантией для поддержания дружественных отношений среди реализующих эти проекты участников... Именно запуск и бесперебойная работа международных транспортных коридоров может стать драйвером для расширения кооперации

⁵ См., напр.: Транспортная связуемость в интересах эффективных и устойчивых производственно-сбытовых цепочек. Экономическая и социальная комиссия для Азии и Тихого океана Комитет по транспорту. Шестая сессия. Бангкок, 12–13 ноября 2020 года. Пункт 3а предварительной повестки дня. Сквозные вопросы в сфере транспорта. [Электронный ресурс]: https://www.unescap.org/sites/default/files/RU_2_TRANSPORT%20CONNECTIVITY%20FOR%20EFFICIENT%20AND%20RESILIENT%20SUPPLY%20CHAINS.pdf. Доступ 30.10.2023.

⁶ 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/ministry/targets/187/191/documents>. Доступ 23.10.2022.

⁷ Intergovernmental Agreement on the Asian Highways Network. UNESCAP. [Электронный ресурс]: <https://www.unescap.org/resources/intergovernmental-agreement-asian-highway-network>. Доступ 23.10.2022.

⁸ Dry Ports and Intermodal Transport. Текст: электронный // Экономическая и социальная комиссия ООН для Азии и Тихого океана. [Электронный ресурс]: <https://www.unescap.org/our-work/transport/dry-ports-and-intermodal-transport>. Доступ 23.10.2022.

в формате Большого Евразийского партнерства и углубления сотрудничества всех заинтересованных участников в приоритетных отраслях экономики» [3].

Существенным фактором, способствующим реализации транспортной составляющей Большого Евразийского партнерства, является возможность создания единого транспортного пространства, интегрированной реализации задач всех участников. Так, например, авторы [4], выделяя приоритетные направления интеграции отдельных государств-членов ЕАЭС в транспортной сфере, отмечают, что «при формировании общего рынка транспортных услуг ЕАЭС необходимо добиться такого уровня сотрудничества, при котором будет найден баланс между национальными интересами каждого государства – члена Союза и целями, которые ставятся на наднациональном уровне в части реализации скоординированной (согласованной) транспортной политики ЕАЭС». Внимание исследователей привлекают перспективные направления взаимодействия, отдельных проектов и форматов сотрудничества в транспортно-логистической сфере между ЕАЭС и странами прохождения транспортно-логистических коридоров (напр.: [5]).

Транспортная составляющая Большого Евразийского партнерства остается важным предметом научных исследований как в качестве специфической темы, так и в контексте более широких обсуждений (напр.: [6–7]).

В целом концепция Большого Евразийского партнерства призвана стать альтернативой как процессам глобализации, так и процессам национализации в современном мире. Поэтому как раз концепция Большого Евразийского партнерства призвана прийти на смену как скомпрометировавшей себя глобализации, так и ограничивающей саму себя национализации.

Стремительные и необратимые перемены, происходящие в современном мире, при всех трудностях и вызовах дают уникальный шанс для глобальной перестройки транспортной отрасли, при этом одним из главных векторов развития современной России становится развитие и реализация концепции «Большой Евразии».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пархоменко Р. Н., Мухлынкина Ю. В., Быкова И. В. Концепция «Большая Евразия» как основа современной Транспортной стратегии России // Модернизационные процессы в обществе и на железнодорожном транспорте: исторический опыт и современная практика / Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск: ОмГУПС. – 2021. – С. 162–173. [Электронный ресурс]: https://www.omgups.ru/science/conf/2022/docs/Модернизационные%20процессы%20в%20обществе_2021.pdf?ysclid=m4zp45eg7n403798605. Доступ 30.05.2023.
2. Быкова И. В. Отражение концепции «Большого Евразийского партнерства» в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года // Позиция. Философские проблемы науки и техники. – 2022. – № 18. – С. 173–177. EDN: WTBXZQ.
3. Мартынова Е. Международные транспортные коридоры как фактор формирования Большого Евразийского партнерства. Россия и новые государства Евразии. – 2023. – № III (LX). – С. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.20542/2073-4786-2023-14-68-77>.
4. Тарарышкина, Л. И., Ястреб Т. А. Формирование общего рынка транспортных услуг как фактор эффективности евразийской интеграции // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2021. – № 3. – С. 25–37. [Электронный ресурс]: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/90300/1/Tararyshkina_25_37.pdf. Доступ 30.10.2023.
5. Мамедов И. Б. Каспийский вектор транспортно-логистической политики ЕАЭС. Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2021. – Т. 14. – № 5. – С. 177–192. DOI: <https://doi.org/10.23932/2542-0240-2021-14-5-9>.
6. Большое евразийское партнёрство: прошлое, настоящее, будущее: избранные труды X Евразийского научного форума: коллективная монография. Том первый. – СПб.: Университет при МПА ЕвразЭС, 2018. – 424 с. (Серия «Евро-Азиатские исследования»). ISBN 978-5-919-50-071-1.
7. Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество. Ежегодник. Вып. 1. Ч. 1 / РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В. И. Герасимов. – М., 2018. – 612 с. ISBN 978-5-248-00878-0. ●

Информация об авторах:

Пархоменко Роман Николаевич – доктор философских наук, доцент, профессор кафедры философии Российского университета транспорта, Москва, Россия, parkhomenkor@mail.ru

Быкова Ирина Валентиновна – аспирантка кафедры философии Российского университета транспорта Москва, Россия, irabyk80@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 30.05.2023, актуализирована 30.10.2023, одобрена после рецензирования 11.12.2023, принята к публикации 22.01.2024.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.852.235

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-11>

Организационно-технологические аспекты перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов в контейнерах



Виктор ФИЛИПОВ



Александр ПИЩИК

**Виктор Николаевич Филиппов¹,
Александр Всеволодович Пищик²**

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

✉ ² alexander.p96@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Рост объемов железнодорожных контейнерных перевозок в Российской Федерации обязывает обратить внимание на обеспечение сохранности перевозки грузов. В этой связи целесообразно обозначить организационно-технологические аспекты перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов в контейнерах.

На основе анализа действующих нормативно-технических документов, отечественного и зарубежного опыта определены наиболее эффективные направления обеспечения сохранности перевозимых грузов, которые базируются на внесении изменений в конструкцию автосцепного устройства подвижного состава. Обоснована необходи-

мость использования индикаторов бережного обращения, удара, наклона груза, вибраций, температуры. Проанализирован и обоснован вопрос необходимости пересмотра системы страхования при перевозке грузов железнодорожным транспортом.

Данная статья является обзорно-аналитическим исследованием вопроса обеспечения сохранности перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов, посредством применения основных (внесение изменений в конструкцию подвижного состава) и сопутствующих (применение индикаторов (датчиков) и совершенствование системы страхования грузов) технико-организационных мероприятий.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, грузовые вагоны, вагоны-платформы для перевозки крупнотоннажных контейнеров, динамика вагонов, перевозка особо ценных грузов, поглощающий аппарат, плавающая хребтовая балка, контейнер, страхование грузов при перевозке железнодорожным транспортом.

Для цитирования: Филиппов В. Н., Пищик А. В. Организационно-технологические аспекты перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов в контейнерах // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 96–100. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-11>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article translated into English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Перевозки грузов железнодорожным транспортом в Российской Федерации и странах Содружества Независимых Государств занимают лидирующие позиции. Железнодорожный транспорт наиболее приспособлен к массовым перевозкам, он функционирует в любое время года и независимо от атмосферных условий [1].

С начала 2000-х годов в Российской Федерации начинается активное развитие железнодорожных контейнерных перевозок. Это связано с созданием в октябре 2003 года Центра по перевозке грузов в контейнерах «Трансконтейнер» – филиала ОАО «Российские железные дороги» (ныне – Публичное акционерное общество «ТрансКонтейнер») [2].

Контейнер – это многооборотная стандартизированная тара для перевозки грузов широкой номенклатуры всеми видами транспорта (железнодорожный, автомобильный, авиационный, морской).

В контейнерах перевозятся широкая номенклатура грузов, включая ценные и дорогостоящие (бытовая техника, спутниковое оборудование, микроскопы, микросхемы, скульптуры, археологические находки, фарфор, стекло, керамика и т. п.).

Следует отметить, что некоторые нормативно-технические документы (далее – НТД) не учитывают особых требований и условий для перевозки хрупких грузов (например, Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных))¹. В НТД больше внимания уделено силам и нагрузкам, при этом почти не поднимались вопросы сохранности перевозки ценных грузов в контейнерах.

В этой связи актуально обзорное исследование вопроса обеспечения сохранности перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов, в части применения основных (внесение изменений в конструкцию подвижного состава) и сопутствующих (применение индикаторов (датчиков) и совершенствование системы страхования грузов) технико-организационных мероприятий.

¹ Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317с. [Электронный ресурс]: <https://dwg.ru/dnl/2822>. Доступ 01.10.2023.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Технические мероприятия

Важное значение для обеспечения надежной доставки и сохранности особо ценных грузов во многих случаях играют ударно-поглощающие устройства.

Ударно-поглощающие устройства подвижного состава железнодорожного транспорта Российской Федерации [3] в целом схожи с аналогичными зарубежными устройствами. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что на отечественном подвижном составе используются варианты СА-3 (Советская автосцепка, 3-й вариант) с поглощающими аппаратами различных по способу поглощения энергии модификаций [4].

Если обратиться к истории вопроса, то геометрические параметры ударно-поглощающих устройств подвижного состава с 30-х годов прошлого века практически не претерпели конструктивных изменений. Вместе с тем, длина, вес и скорость движения грузовых поездов стремительно увеличивались. С 1950 года на железных дорогах Союза Советских Социалистических Республик начинается массовое внедрение сортировочных горок (горочных комплексов), при этом регламентированная скорость соударения вагонов [5] при их роспуске соблюдается не всегда. Для обеспечения сохранности грузов следовало изменить конструкцию автосцепного устройства, увеличив ход поглощающего аппарата с 70 (90) до 110 (120) мм. Однако простое увеличение хода не позволяет получить скорость соударения при заданном уровне продольных нагрузок. Выбор возможных изменений геометрических параметров может быть сделан только на основе тщательных теоретических исследований. К первоочередным мероприятиям можно отнести разработку теоретических моделей различных моделей автосцепных устройств и/или методов амортизации грузов.

В связи с этим целесообразно кратко проанализировать конструкции, историю и опыт применения поглощающих аппаратов, применявшихся и применяемых, например, на железных дорогах США. Американские поглощающие аппараты имеют тенденцию к увеличению хода поглощающего аппарата. Опыт железных дорог США свидетельствует, что увеличение хода поглощающего аппарата требует увеличения длины хвостовика автосцепки (рис. 1).





Рис. 1. Автосцепка AAR Alternate Standard Controlled Slack Coupler с тяговым хомутом (США). [Car and Locomotive Cyclopedic 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].

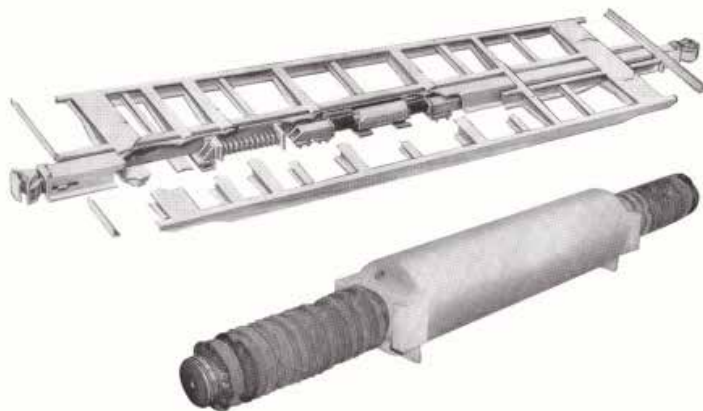


Рис. 2. Хребтовая балка с гидравлическим демпфером в центральной части (США) [там же].

Увеличение длины хвостовика автосцепки реализуется при увеличении хода поглощающего аппарата, в свою очередь для этого требуется внесение конструктивных изменений в консольную часть хребтовой балки. Одним из подходов по обеспечению сохранности перевозимого груза является изменение конструкции хребтовой балки в зоне упорного угольника и замене центрирующих балочек, а также использование отклоняющего устройства автосцепки [6]. Подчеркнем, что этот подход не в полной мере может обеспечить сохранность ценных грузов.

На железных дорогах США разработаны различные конструктивные варианты исполнения плавающих хребтовых балок (рис. 2). Одновременно с задачами по обеспечению сохранности перевозимых грузов решаются задачи по исключению самопроизвольного расцепа вагонов в составе поездов.

Для перевозки специальных грузов построены и испытаны вагоны с плавающими хребтовыми балками фирмы «Pullman-Standard Car Manufacturing Company» (рис. 3). Однако указанный узел применялся в первую очередь на большегрузных вагонах, что было обусловлено необходимостью их применения с длинной консолью. Данные решения в России ранее были реализованы только в рамках

испытаний вагонов специального назначения, например вагона модели 11-9960 постройки ОАО «ТВЗ» [7].

В настоящее время в ОАО «Российские железные дороги» решаются задачи обеспечения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов с использованием высокоэнергоемких поглощающих аппаратов (эластомерные поглощающие аппараты классов Т2 и Т3). Применяемые эластомерные поглощающие аппараты, серийно выпускаемые в настоящее время, имеют характеристики, обусловленные необходимостью поглощения энергии. При участии одного из авторов были разработаны эластомерные поглощающие аппараты [9; 10], которые в настоящее время широко применяются на вагонах для перевозки опасных грузов.

Рассматривая конструкцию пассажирских вагонов, следует отметить, что на указанном подвижном составе широко применяются резинометаллические поглощающие аппараты (Р-2П и Р-5П) [11]. Известно, что применение резиновых упругих элементов приводит к изменению жесткости при низких температурах. Отметим, что в расчетных моделях не учитывается возможность изменения жидкостных характеристик при температуре -60°C .

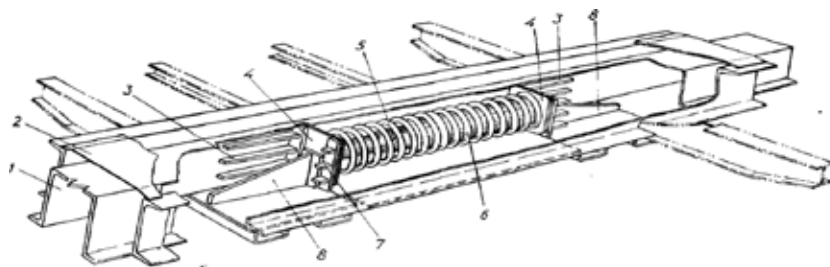


Рис. 3. Плавающая хребтовая балка грузового вагона фирмы «Pullman-Standard Car Manufacturing Company» (США) [8].

Зарубежный опыт обеспечения сохранности перевозимых грузов показывает свою эффективность. Он базируется на контроле уровня ускорений, включая фиксирование ударов, наклонов и падения. Широкое распространение получили индикаторы ShockWatch® 2 (США): бережного обращения, удара, наклона груза, вибраций, температуры. Данные индикаторы бывают одноразовыми (рис. 4) и многоразовыми. В одноразовых индикаторах контрольный элемент (стеклянная трубка) необратимо окрашивается в красный цвет, если произошел удар, превышающий допустимое значение. Многоразовые индикаторы обеспечивают фиксацию значений и используются повторно в пределах нормативного срока службы².

В связи с тем, что в настоящее время наблюдается стабильно высокий поток грузов, перевозимых в составе контейнерных поездов из Китайской Народной Республики в страны Европейского союза через территорию Российской Федерации, для контроля за режимами динамических нагрузок возможно будут применяться некоторые из вышеперечисленных типов индикаторов. Применение указанных индикаторов (их аналогов) позволит повысить ответственность каждого участника перевозочного процесса и минимизирует случаи повреждения особо ценных грузов.

Обеспечение сохранности перевозки особо хрупких и ценных грузов можно достичь только комплексными мерами и в частности – внесением изменений в конструкцию автосцепного устройства подвижного состава, а также путем установки особых технических устройств внутри контейнера.

На основании проводимых Российским университетом транспорта (МИИТ) исследо-



Рис. 4. Одноразовые индикаторы удара ShockWatch 2².

ваний ударно-поглощающих устройств [12–15] возможно создание вероятностных моделей возникновения повреждений перевозимых грузов в текущих условиях эксплуатации.

В настоящее время проводятся работы по увеличению хода ударно-поглощающих устройств с использованием типовых поглощающих аппаратов.

Сопутствующим механизмом повышения сохранности перевозки особо ценных грузов железнодорожным транспортом, на наш взгляд, является совершенная и адаптированная под условия перевозки система страхования грузов на железнодорожном транспорте.

В мире широко распространены различные подходы по страхованию грузов на железнодорожном транспорте, включая применение государственных систем и программ. Анализ информации о страховании грузов на железных дорогах мира показывает, что каждая страна применяет системы и программы, которые максимально адаптированы под местные условия перевозок [16]³.

Существующая в Российской Федерации система страхования перевозок не в полной мере учитывает требования по обеспечению сохранности. Для обеспечения единого подхода к страхованию груза, на наш взгляд,

² Индикаторы удара и наклона ShockWatch® 2 (США). Шоквотч ГК «Технологии Контроля». [Электронный ресурс]: <https://rosploomba.ru/g6920376-indikator-udara-naklona>. Доступ 01.10.2023.

³ Insurance Requirements for Federally Regulated Freight Railway Companies – Implementation guide [Электронный ресурс]: <https://otc-cta.gc.ca/eng/publication/insurance-requirements-federally-regulated-freight-railway-companies-implementation>. Доступ 01.10.2023.



целесообразно рассмотреть возможность создания государственной системы страхования грузов. Полагаем, что на уровне государственных органов необходимо обеспечить введение требований с учетом специфических условий обеспечения сохранности определенных видов грузов (например, особо ценных) с определением правовых аспектов работы надзорных органов и страховых организаций.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Даже краткое обзорно-аналитическое исследование показало, что достижение безусловного обеспечения сохранности перевозки особо ценных грузов железнодорожным транспортом может быть реализовано только при условии комплексного подхода (совокупности технико-организационных мероприятий).

Приведенные примеры как технической, так и организационной направленности могут быть значительно дополнены и систематизированы, первый шаг к чему – сформулировать соответствующую задачу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Реутов Е. В. Формирование коммерческой инфраструктуры рынка в сфере грузовых железнодорожных перевозок / Дис... канд. экон. наук. – М.: Государственный университет управления, 2017. – 174 с. [Электронный ресурс]: https://guu.ru/files/dissertations/2017/08/reutov_e_v/dissertation.pdf. Доступ 25.02.2024.
2. Мамонтов И. Ю. Совершенствование организации перевозок грузов в контейнерах с применением опорной сети контейнерных накопительно-распределительных центров / Дис... канд. техн. наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2013. – 300 с.
3. Коломийченко В. В., Беспалов Н. Г., Семин Н. А. Автосцепное устройство подвижного состава. – М.: Транспорт, 1980. – 185 с.
4. Быков Б. В. Конструкция, техническое обслуживание и текущий ремонт грузовых вагонов. – М.: Желдориздат, Трансinfo, 2005. – 416 с. ISBN 5-94069-002-5.
5. Гапеев В. И., Пищик Ф. П., Егоренко В. И. Безопасность движения на железнодорожном транспорте: Монография. – Мн.: Полымя, 1996. – 360 с. ISBN: 985-07-0149-8.
6. Филиппов В. Н., Василенко А. В., Маловичко В. В. [и др.] Патент РФ № 2335422. Вагон с отклоняющим устройством автосцепки – МПК В61Г 7/12, 2004. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2335422C2_20081010. Доступ 25.02.2024.
7. Петров Г. И., Филиппов В. Н., Курзина Н. М., Сергеев И. К. Оценка опасности выжимания порожних вагонов при маневровых соударениях и переходных ре-

жимах 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>.

8. Асадулин Е. А., Пайзилдаев А. И., Мепаришвили Г. Р. Параметры плавающей хребтовой балки и актуальность ее применения для грузового подвижного состава // Вестник науки. – 2020. – Т. 4. – № 6 (27). – С. 197–201. [Электронный ресурс]: <https://www.vestnik-nauki.ru/archiv/journal-6-27-4.pdf#page=197> [полный текст выпуска]. Доступ 21.01.2024.

9. Кубицкий Антони (PL), Стжизь Эугениш (PL), Хмелевский Анджей (PL), Кендзер Юзеф (PL), Поплавский Войцех (PL), Мильчарский Казимеж (PL), Михайлов В. М. (RU), Филипов В. Н. (RU), Димитров В. В. (RU), Скуратов А. Е. (RU), Куренко В. Н. (RU), Ульянов О. А. (RU) (сокр. Кубицкий Антони, Филиппов В. Н., Димитров В. В., Скуратов А. Е., Куренко В. Н. и др.) Патент РФ (11) № 2210514. Способ и устройство для отвода энергии удара в частности в автоматических сцепках рельсового подвижного состава – МПК В61Г9/04, В61Г11/16 20/08, 2003. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2210514C2_20030820. Доступ 01.02.2024.

10. Кубицкий Антони (PL), Стжизь Эугениш (PL), Хмелевский Анджей (PL), Кендзер Юзеф (PL), Поплавский Войцех (PL), Мильчарский Казимеж (PL), Михайлов В. М. (RU), Филипов В. Н. (RU), Димитров В. В. (RU), Скуратов А. Е. (RU), Цуриенко В. Н. (RU), Ульянов О. А. (RU) (сокр. Кубицкий Антони, Филиппов В. Н., Димитров В. В., Скуратов А. Е., Цуриенко В. Н. и др.) Патент РФ (11) № 2112677. Аппарат, поглощающий энергию, в частности, для железнодорожных автоматических сцепок – МПК В61Г9/100, В61С11/00, 2004. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2112677C1_19980610. Доступ 01.02.2024.

11. Кобищанов В. В., Антипин Д. Я., Шорохов С. Г. Оценка динамической нагруженности отечественных пассажирских вагонов при аварийных соударениях поездов с препятствиями // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: материалы Третьей всероссийской научно-техн. конференции с международным участием. В 3 ч. – Ч. 2. – Омск: ОмГУПС, 2015. – С. 50–56. EDN: UZRSXB.

12. Петров Г. И. Оценка безопасности движения вагонов при отклонениях от норм содержания ходовых частей и пути / Дис... докт. техн. наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2000. – 348 с.

13. Филиппов В. Н. Особенности расчета, анализа и пути улучшения динамических показателей перспективных большегрузных вагонов / Дис... докт. техн. наук. – М., 1986. – 384 с.

14. Беспалко С. В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов / Дис... докт. техн. наук. – М.: МГУПС, 2000. – 426 с.

15. Сергеев И. К. Моделирование продольных сил, возникающих при взаимодействии порожних и малозагруженных вагонов в грузовых поездах / Дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2023. – 190 с.

16. Поспелова Л. Н. Повышение эффективности транспортно-экспедиционных услуг на основе функционирования логистических центров / Дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 182 с. ●

Информация об авторах:

Филиппов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, Москва, Россия, filipovvn@gmail.com.

Пищик Александр Всеволодович – соискатель ученой степени кандидата технических наук, прикрепленный к аспирантуре Российского университета транспорта, Москва, Россия, alexander.p96@mail.ru.

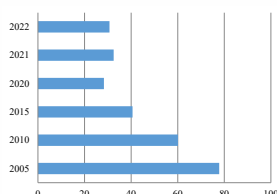
Статья поступила в редакцию 18.10.2023, одобрена после рецензирования 28.03.2024, принята к публикации 02.04.2024.



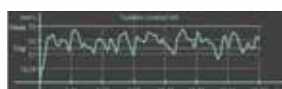
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИОНОВ

102

Влияние транспортно-логистической системы на региональную экономическую устойчивость, ресурсосбережение и ключевые региональные экономические показатели.



УСТОЙЧИВОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ



БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

118

Особенности поведения молодых водителей: фактор влияния присутствия пассажира в автомобиле на скорость движения.



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

124

Обеспечение устойчивого развития сектора воздушных перевозок: трансформации трудового пространства и новые стратегии управления занятостью.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 332.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-12>

Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 102–117

Оценка влияния транспортно-логистической системы на ресурсосбережение, ключевые региональные экономические показатели и экономическую устойчивость



Валерий ХАЙТБАЕВ



Евгений ЧЕРНЯЕВ

Валерий Абдурахманович Хайтбаев¹,
Евгений Васильевич Черняев²

¹ Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия.

² Вольский военный институт материального обеспечения, Вольск, Россия.

¹ ORCID 0000-0001-8244-8842; Scopus Author ID: 57207192153; РИНЦ SPIN-код: 6990-4788; РИНЦ Author ID: 50419860.

² ORCID 0009-0003-9646-5995; РИНЦ SPIN-код: 3339-3490; РИНЦ Author ID: 1197150.

✉ ¹ vhaitbaev21@mail.ru.

✉ ² ki-la@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Цель исследования состоит в определении степени зависимости между региональной транспортно-логистической системой и основными региональными экономическими показателями и их влияния на ресурсосбережение и уровень экономической устойчивости.

Методы исследования основаны на использовании сравнительного анализа подходов, применяемых к определению характеристик транспортно-логистических систем, ретроспективного, корреляционно-регрессионного, морфологического, абстрактно-логического, теоретико-эмпирического и структурного анализа.

Результатом исследования является анализ подходов к определению и оценке ТЛС с позиции пространственного размещения объектов транспортно-логистической инфраструктуры в контексте их влияния на пространственную организацию производительных сил. Проведен ретроспективный, сравнительный и корреляционно-регрессионный

анализ показателей, характеризующих региональную транспортно-логистическую систему, экономических показателей ВРП и оборота розничной торговли; рассчитана аналитическая зависимость экономических показателей региона от состояния региональной транспортно-логистической системы; обоснована зависимость уровня экономической устойчивости и ресурсосбережения от развитости транспортно-логистической инфраструктуры.

Результаты исследования могут быть использованы при определении уровня влияния транспортно-логистической системы на региональные экономические показатели деятельности различных отраслей промышленности, что является индикатором уровня их экономической устойчивости в рамках принятой региональной стратегии планирования пространственного размещения объектов транспортно-логистической инфраструктуры.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система, инфраструктура, регион, экономические показатели, экономическая устойчивость, ресурсосбережение, зависимость.

Благодарность: исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжелдор) на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения. Проект «Проектирование ресурсосберегающей транспортно-логистической системы в экономике субъектов РФ». Интернет-номер / Регистрационный номер: 124040300020–8.

Для цитирования: Хайтбаев В. А., Черняев Е. В. Оценка влияния транспортно-логистической системы на ресурсосбережение, ключевые региональные экономические показатели и экономическую устойчивость // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 102–117. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-12>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article translated into English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Задачу вывода России на инновационный путь социально-экономического развития нельзя рассматривать вне контекста региональной экономической политики. Долгосрочные прогнозы и стратегии социально-экономического развития Российской Федерации, в частности Федеральный закон от 28.06.2014 N 172-ФЗ (ред. от 17.02.2023) «О стратегическом планировании в Российской Федерации»¹, который разработан на ближайшие шесть лет, очевидно, может быть реализован исключительно средствами прорывного научно-технологического развития региональных экономик субъектов Российской Федерации. В рамках разработки стратегий развития Российской Федерации происходит координация деятельности по согласованию стратегий социально-экономического развития субъектов Российской Федерации и подготовка по ним сводного заключения. В этом контексте не менее важное значение имеют национальные проекты «Сбалансированное региональное развитие» (сроки реализации по регионам, вошедшим в проект, до 2030 года) и «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (сроки реализации по регионам, вошедшим в проект, до 2026–2030 годов).

Развитие региональных транспортно-логистических систем (ТЛС) является одним из ключевых факторов повышения эффективности региональных экономик. Ввиду особенностей территориального размещения производительных сил, при котором экономическое расстояние между субъектами хозяйственной деятельности значительно повышает стоимость конечных товаров и услуг, создание развитой транспортно-логистической инфраструктуры вполне обосновано, его можно считать одним из приоритетов регионального развития.

По этой причине пространственное размещение предприятий требует обоснования выбора их дислокации, в том числе с учетом возможностей ТЛС. В этой связи Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утверж-

денная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 года № 207-р², формирует систему критериев размещения производительных сил, обеспечивающих развитие территорий и экономический рост, и представляет собой документ стратегического планирования в рамках целеполагания по территориальному принципу. Ввиду завершения периода реализации стратегии с большой долей вероятности можно предполагать принятие аналогичной стратегии на последующий период в мейнстриме предыдущей, в том числе с учетом необходимости достижения ранее поставленных целей.

Одним из центральных принципов развития государства в указанных документах является ресурсосбережение. Ресурсосбережение для экономики Российской Федерации и ее субъектов вместе с другими задачами определяет основу развития территорий. В этой связи влияние затратности транспортно-логистической услуги ставит задачу совершенствования транспортно-логистической инфраструктуры, а зачатую – формирования новой.

Цель вхождения Российской Федерации в число ведущих экономик мира требует, в том числе, разработки оптимальных механизмов ресурсосбережения, и поскольку доля затрат на логистику в России составляет около 25–30 % от валового внутреннего продукта [1], что является одним из самых высоких показателей среди развитых стран, очевидна необходимость ее развития и модернизации.

Более того, внедрение механизмов ресурсосбережения влияет на повышение экономической устойчивости и государства в целом, и отдельно взятых регионов. Ввиду высокой стоимости транспортно-логистической услуги ее влияние на пространственную связанность территорий безусловна, а зависимость между ресурсосберегающим механизмом транспортно-логистической системы и уровнем экономической устойчивости очевидна.

¹ Федеральный закон от 28.06.2014 N 172-ФЗ (ред. от 17.02.2023) «О стратегическом планировании в Российской Федерации». [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/ons_doc_LAW_164841/. Доступ 19.04.2024.

² Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 года № 207-р. [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/. Доступ 19.04.2024.



ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработка ресурсосберегающей модели ТЛС в контексте экономики не только предприятия, но и региона, страны является краеугольной проблемой и требует научного анализа, оценки и применения методологических приемов ее обоснования и эффективного решения. В современной научной литературе работ, раскрывающих указанную проблему и предлагающих набор научных инструментов и механизмов ее решения, достаточно много. Можно выделить ряд работ, которые обладают несомненными достоинствами по уровню анализа и детализации задач ресурсосбережения, эволюции и содержат научно-практические рекомендации по их решению. К их числу можно отнести, например, монографию Л. Л. Каменик «Ресурсосберегающая политика и ресурс ее реализации в формате эволюционного развития» [2]. Автором предлагаются три модели ресурсосбережения. Первые две, которые автор называет технократическими, предусматривают снижение ресурсоемкости технологий и получение ресурсосберегающего эффекта на уровне предприятия. Третья модель предусматривает получение ресурсосберегающего эффекта на пространстве региона и страны, то есть масштабирует систему производственных отношений в пространстве между предприятиями в производственно-логистической цепочке. Автор обоснованно доказывает причинно-следственную связь между ресурсообеспечением и ресурсосбережением. Однако основное внимание в работе уделяется моделям ресурсосбережения природно-ресурсного потенциала России.

Вместе с тем, автором меньше внимания уделяется организационным механизмам ресурсосбережения, что является ключевым фактором организации и функционирования ресурсосберегающей транспортно-логистической модели. Работы [3–5] в большей мере сфокусированы на проблемах ресурсосбережения на производстве, в строительстве, при управлении отходами, сохранения энергии и т. п. Однако организационно-управленческие технологии ресурсосбережения, задачи сбережения ресурсов при доставке грузов с использованием ТЛС детально не рассматриваются.

В контексте ресурсосбережения в ТЛС можно выделить ряд направлений. Во-первых, это совершенствование организационно-управленческого механизма; во-вторых, ра-

циональный выбор местоположения предприятий с учетом минимизации затрат на транспортировку, консолидацию и распределение грузопотоков; в-третьих, формирование сети транспортно-логистических центров (ТЛЦ); в-четвертых, развитие дорожной сети видов транспорта и, наконец, повсеместное внедрение информационных технологий.

Более детального анализа заслуживают ТЛС, состоящие из ТЛЦ и сети транспортных коммуникаций. Поскольку размещение производств требует учета базовых условий и предпосылок, которые предполагают приемлемый уровень эффективности предприятий, управление пространством через моделирование ТЛС призвано обеспечить интеграцию предприятий в цепи «снабжение – производство – сбыт – распределение – потребление» и снижение возрастающих логистических затрат.

Тема разработки и внедрения транспортно-логистических моделей достаточно тривиальна и подробно представлена в научной литературе. Так в работах [1; 6–9] обосновывается необходимость формирования транспортно-логистических кластеров (ТЛК) на основе различных моделей, в том числе структурно-логистических. В указанных работах представлены методики оценки экономического потенциала территорий для определения целесообразности формирования ТЛК, а также проводится уточнение определений и понятий, относящихся к ТЛК.

Анализ публикаций, посвященных ТЛК, показывает научно-практическую ценность данного способа организации экономической деятельности для реализации задач социально-экономического развития. На странице электронного ресурса проекта «Карта кластеров России», разработанного специалистами Российской кластерной обсерватории ИСИЭЗ НИУ ВШЭ³, сообщается, что в Российской Федерации создано 120 кластеров по 28 отраслям промышленности, и показано влияние распределения кластеров по федеральным округам на величины ВВП (ВРП). В работе [10] проведен анализ структуры ТЛК с выделением главных составляющих: транспорт, терминально-складские комплексы, транзитный потенциал и логистические операторы. Для определения влияния ТЛК на экономику, в том числе региональную, были также исследованы, обобщены

³ Карта кластеров России. НИУ ВШЭ. [Электронный ресурс]: <https://map.cluster.hse.ru/>.

и проанализированы две работы [10; 11], в которых уточняются понятия и определения ТЛК и их структурные элементы.

Вместе с тем анализ показывает, что проблемы создания ТЛК в Российской Федерации возникают, в том числе, ввиду отсутствия общепринятого научным сообществом, бизнесом и органами власти понимания составляющих кластера, его участников и функциональных взаимоотношений [1].

Анализ научных публикаций, раскрывающих содержание отраслевого подхода, показывает его недостаточную эффективность, тогда как задача достижения целей отраслью требует выхода за ее границы и привлечения технологического, технического и ресурсного потенциалов других отраслей. Так, в работе [11] указывается на преимущественно отраслевой подход к организации экономической деятельности, который ограничивает развитие предприятий границами отрасли. В работе проводится сравнительный анализ отраслевого и кластерного подходов, где указывается преимущество кластерного.

Однако не получили должного развития работы, в которых определяется влияние кластерного и отраслевого подходов на экономические показатели, устойчивость региональных экономик и ресурсосбережение.

Тем не менее, эта связь очевидна, а влияние на уровень экономической устойчивости определяется через систему результирующих групп показателей. К этим группам показателей рекомендуется отнести: показатели производственной устойчивости предприятий региона; показатели ресурсной и технической устойчивости; показатели инвестиционной устойчивости; показатели финансовой устойчивости; показатели организационно-управленческой устойчивости.

Дефиниция «экономическая устойчивость хозяйствующего субъекта» анализируется в ряде научных публикаций, например, в [12; 13], но не имеет устоявшегося определения. Сложность определения этой дефиниции заключается в том, что она состоит из двух слов – «устойчивость» и «развитие», которые являются, по мнению некоторых авторов, взаимоисключающими: «устойчивого развития просто не может быть, так как при развитии (динамике) стабильности (постоянства) не будет» [14].

В зарубежной научной литературе термин «Sustainable development», получил широкую

известность после доклада «Наше общее будущее» в 1987 году, выполненного под руководством Г. Х. Брундтланд⁴, и был переведен на русский язык как «устойчивое развитие». Первоначально введенный Г. Х. Брундтланд термин «устойчивое развитие» касался глобального развития всего мирового сообщества, и его смысл заключался в гармоничном, сбалансированном развитии экономической, социальной и экологических сфер существования человека. В дальнейшем этот термин стал настолько популярным, что его стали применять не только по отношению к макроуровню, но и микроуровню, увеличив до словосочетания «экономическая устойчивость предприятия», что расширило сферу его употребления и привело к еще большей сложности его использования [10].

Анализ научных публикаций по экономической устойчивости хозяйствующих субъектов, проведенный по базе данных научной электронной библиотеки eLibrary.ru, показал, что их около 470 (по состоянию на март 2024 года), и большинство работ по данной проблеме относится к производственно-промышленным предприятиям и другим сферам хозяйственной деятельности. Например, в [16–22] в этом контексте отсутствует анализ работы транспортных предприятий, ТЛЦ и транспортно-логистических комплексов.

Кроме того, высоко оценивая вклад отечественных ученых в исследования пространственного размещения производительных сил, отметим, что в этих исследованиях недостаточно учитывается опыт других экономически развитых стран, например, создание сети «транспортно-логистических деревень» Европейского союза.

Вместе с тем, следует отметить российский опыт создания грузовых деревень и ТЛЦ, таких как «Фрейт Вилладж Ворсино», ТЛЦ «Белый Раст» и других. Заслуживает внимания практика строительства «сухих» портов ОАО «РЖД», которые, в том числе, являются региональными хабами по определенным векторам внешних экспортных маршрутов.

Таким образом, приоритеты развития региональных экономик диктуют направления

⁴ Gro Harlem Brundtland. Statement at the 42nd session of the General Assembly of the United Nations. October 19, 1987. Presentation of the unanimous report of the World Commission on Environment and Development - «Our Common Future». P. 4. [Электронный ресурс]: https://idbnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/20579/WCED_v42_doc1-36.pdf. Доступ 19.04.2024.



содержательной модернизации транспортно-логистической инфраструктуры, которые фокусируются на необходимости не просто адаптации к потребностям грузовладельцев и перевозчиков, а прогнозирования их изменений, связанных с глобальными и страна-выми условиями хозяйствования, очевидно влияющих на требования к транспортно-логистической услуге.

Региональные пространственные особенности формируют предпосылки для функционирования и развития транспортно-логистической системы в качестве пространственной, интегрированной в региональный производственно-технологический комплекс, и только в этом виде она может выступать «полюсом роста».

К авторам, которые разработали классические теории пространственного размещения производительных сил, относятся И. Г. фон Тюнен, А. Вебер, А. Леш, Э. Гувер и другие [23–25]. Работы Н. Н. Колосовского, Н. Н. Баранского, М. К. Бандмана, Ж. Оттавиано, П. Мартина, Ж. Р. Тисса и других посвящены подходам системной пространственной организации хозяйства⁵ [26–29]. Методология территориальной организации производительных сил при исследовании полюсов роста в экономическом пространстве разработана в трудах П. Кругмана, М. Портера, Б. Асхейма, А. Изаксена, Дж. Хамфри, Х. Шмитца и других [30–36], в том числе в публикациях российских исследователей, например, [37–39].

Интегральным критерием в работах перечисленных авторов является уровень развития ТЛС как необходимое условие развития территорий.

Следовательно, пространственная интеграция субъектов хозяйственной деятельности на базе эффективных транспортно-логистических моделей ориентирует экономическую систему на существенное увеличение вклада в социально-экономическое развитие российских регионов. Поэтому пространственное развитие территорий в силу многих нерешенных проблем остается предметом научного анализа и практи-

ческих решений, представленных в стратегических, прогнозных, программных документах Российской Федерации и ее субъектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ подходов к определению, структуре, форме собственности, функциональному предназначению и месту ТЛС в экономике субъектов Российской Федерации имеет достаточное разнообразие.

В этом перечне наиболее известными и обсуждаемыми являются кластерный подход к определению и функциональному предназначению ТЛС, отраслевой и пространственный подходы, имеющие свою специфику.

Особенности кластерного подхода выделяют транспортно-логистические системы в единую организационно-экономическую единицу, консолидирующую ресурсы и связанную общей конечной целью, – предоставление заказчикам, предприятиям и организациям эффективной транспортно-логистической услуги. Возможность предоставления низкзатратной и качественной услуги зависит от уровня кооперации и взаимосвязанности организаций транспортно-логистического кластера, находящегося на определенной территории. То есть это специфический ресурс, обеспечивающий связанность и доступность участников экономической деятельности в производственно-логистической цепочке. С позиции кластерного подхода транспортно-логистическая система – это один из элементов экономической системы более высокого порядка, например экономики субъекта Российской Федерации. Анализ кластерного подхода позволяет выделять, например, промышленный кластер (по видам промышленности) – авиационный кластер, нефтехимический кластер, кластер автомобилестроения, аграрный кластер и т. п.

С точки зрения отраслевого подхода ТЛС – это специфическая экономическая деятельность, сосредоточенная в отрасли предоставления услуг по транспортировке и распределению грузов, где группировка предприятий происходит по отраслевому признаку. В отрасли, в отличие от кластера, границы которого могут выходить за рамки отрасли, происходит объединение предприятий по технологическому или продуктовому признаку.

⁵ Баранский Н. Н. Краткий курс экономической географии. Вып. 2. Эконом. география СССР. Общий обзор СССР в целом. Обзор по экономическим районам. – М. – Л. – 1928. – 455 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/safe-view/123456789/229245/1/MzM2MjRfQmFyYW5za2lpLCBOLiBOLiBLcmF0a2lpIGt1cnMgZWtvm9taWNoZXNrb2kgZ2VvZ3lucGRm>. Доступ 19.04.2024.

Таблица 1

Сравнительный анализ подходов оценки ТЛС [разработан авторами]

Показатель	Кластерный подход	Отраслевой подход	Пространственный подход
Производственно-технологические, организационные границы	Группа предприятий различных отраслей, взаимодополняющих друг друга	Совокупность предприятий, объединенных по логистическому признаку в границах одной отрасли	Четких границ нет, признаки территориального выделения: местоположение; экономическое расстояние; элементы кластерного и отраслевого подходов
Регулирование экономической деятельности	На основе государственно-частного партнерства	Органы исполнительной власти, правительство	Ориентирование на индикативные параметры принятия решений размещения объектов (Стратегия пространственного развития РФ)
Показатель конкурентоспособности	Высокий	Показатель уменьшается при прямом регулировании экономической деятельности	Наибольший показатель конкурентоспособности, отсутствует прямое регулирование
Степень взаимодействия с внешней средой	Комбинация конкуренции и кооперации	Не предусмотрено взаимодействие, процессы ограничены внутриотраслевой технологией	Максимальный уровень взаимодействия
Барьеры / точки роста	Высокая забюрократизированность, лоббирование, коррупционные риски / высокий потенциал концентрации ресурсов	Расхождение интересов с другими отраслями и кластерами / быстрая реакция на изменения внешней среды	Необходимость доформирования части инфраструктуры транспортно-логистической системы / масштаб деятельности, низкий уровень законодательных ограничений
Экономический рост	Усиление на основе синергетического эффекта и эффекта масштаба	Ограничен рамками отрасли	Зависит от эффективности дислокации объектов ТЛС

Кластер же предусматривает выход за рамки отрасли и объединение предприятий разных отраслей, что характерно, в том числе, и для транспортно-логистического кластера.

Использование пространственного подхода формирования транспортно-логистических систем при анализе экономических процессов определяет влияние на экономику предприятия или региона транспортных тарифов, времени и скорости доставки грузов, доступности вида транспорта, возможности перевозки больших объемов грузов и других базовых параметров, влияющих на пространственную дислокацию инфраструктурных объектов.

Таким образом, анализ перечисленных подходов к оценке ТЛС в экономике регионов показал как схожесть, так и их различия (табл. 1). Анализ содержания таблицы показывает очевидные преимущества кластерного подхода, однако у пространственного подхода отсутствуют административные ограничения. Поэтому возможны выход за пределы не только отрасли, но и кластера и вовлечен-

ность в общее экономическое пространство большего количества кластеров и отраслей при условии, что цена на транспортно-логистическую услугу является конкурентоспособной и удовлетворяет как поставщиков, так и потребителей.

В этой связи особого внимания заслуживает, например, опыт органов управления Евросоюзом и стран его членов при формировании ТЛС и его влияние на экономику всего объединения, в том числе, на регионы и страны. Европейские страны прошли более чем сороколетний путь создания ТЛС и обеспечили этими системами снижение затрат на логистику и максимальный охват территорий доставки. Созданная европейская система играет усиливающую роль в экономике объединения.

По данным Europlatforms EEIG⁶, членами которой являются крупнейшие объединения, отдельные ТЛЦ и «грузовые деревни» Европы, на 2015 год в 28 странах ЕС насчитывалось 240 ТЛЦ общей площадью 25 891 Га

⁶ [Электронный ресурс]: <https://www.europlatforms.eu>.



Таблица 2

Агрегированные региональные экономические показатели Самарской области

Показатели	Годы					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Валовой региональный продукт (в текущих основных ценах), млн руб.	1449 005,7	1625 558,7	1689 575,4	1625 461,8	2157 662,0	2378 451,0
Индекс физического объема валового регионального продукта (к предыдущему году), %	100,8	100,2	101,4	94,1	105,3	97,8
Строительство (к предыдущему году), %	104,5	80,7	116,2	86,8	121,8	102,1
Транспортировка и хранение (к предыдущему году), %	104,0	103,0	100,8	92,1	104,2	105,2

Источник: разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики⁸.

(средняя площадь одного ТЛЦ составила 108 Га)⁷.

Опыт Европейского Союза показывает поэтапную трансформацию в создании сети ТЛЦ от отраслевого к кластерному и, наконец, к пространственному подходу, что подтверждается охватом практически всего ЕС и доступа к транспортно-логистическим услугам максимального количества потребителей.

Таким образом, анализ подходов к определению роли и места ТЛС в экономическом пространстве показывает, что основная доля научных работ, хотя и раскрывает влияние ТЛС как кластера или отрасли на экономику регионов, но не акцентирует внимание на том, как эти связи влияют, например, на экономическую устойчивость.

Следовательно, обоснованным представляется дальнейшее исследование с целью определения степени зависимости основных региональных экономических показателей от региональной транспортно-логистической системы и ее влияния на уровень экономической устойчивости и практики ресурсосбережения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный анализ предлагаемых для оценки имманентных региональных экономических показателей и определения степени их зависимости от существующей региональной ТЛС позволяет сделать предположение о наличии существенной корреляции между ними.

Для проведения исследования была выбрана Самарская область. Анализ и оценка про-

водились по следующим отраслевым показателям региональной экономики: валовой региональный продукт с индексами его физического объема; статистические показатели отраслей (строительство, транспорт и хранение, оптовая и розничная торговля); инвестиции в основной капитал и их стоимость по видам деятельности (строительство, транспорт и хранение, оптовая и розничная торговля); ввод и степень износа основных фондов по строительству, транспорту и хранению, оптовой и розничной торговле; финансовые результаты деятельности; перевозка грузов и грузооборот автомобильного транспорта. Рассматривался период 2017–2022 годов.

При этом необходима важная оговорка. Задачей в контексте исследования являлись выявление принципиальных закономерностей и разработка методологических подходов, но не анализ причин изменения динамики рассматриваемых показателей в отдельном регионе. В этой связи использовался период, для которого к моменту подготовки публикации имелись в наличии достаточно полные сведения. В 2023 году произошло существенное улучшение региональных показателей, однако по предварительному анализу положительная динамика подтвердила сделанные в исследовании выводы относительно выявленных закономерностей.

Табл. 2 и рис. 1 и 2 демонстрируют основные агрегированные региональные экономические показатели⁸.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и на диаграммах на рис. 1 и 2, показывает, что

⁷ Концепция формирования и функционирования транспортно-логистических центров, принятая в ЕС. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.org/ru/o-nih/transportno-logisticheskie-centry/evrosojuz/>. Доступ 19.04.2024.

⁸ Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели 2023. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Reg_Rus_Pokaz_2023.htm. Доступ 19.04.2024.

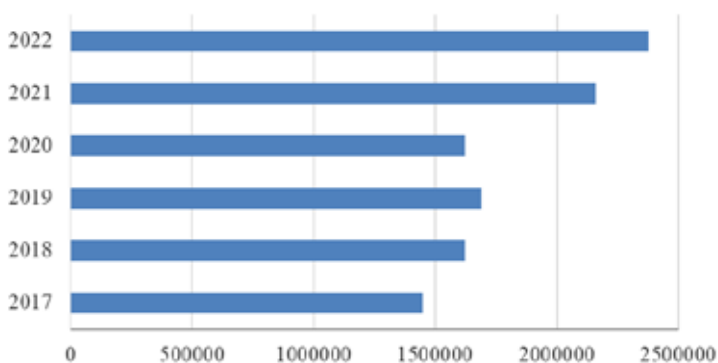


Рис. 1. Динамика изменения валового регионального продукта [разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики¹].

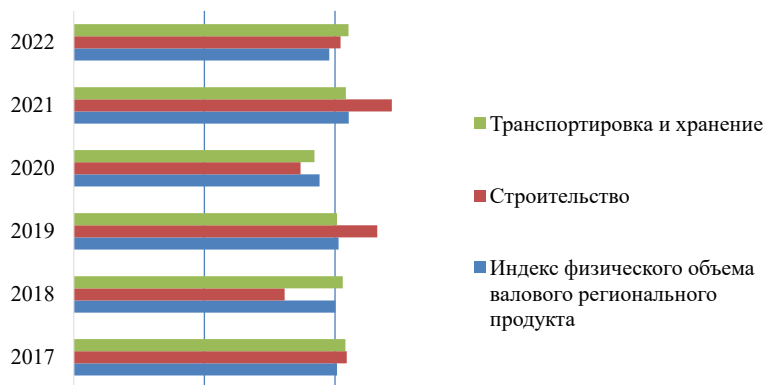


Рис. 2. Агрегированные региональные экономические показатели [разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики²].

динамика показателей валового регионального продукта (ВРП) в абсолютных и относительных значениях в целом имела в рассмотренный период отрицательный тренд. Рост значений в рублях отражает инфляционные процессы, а индекс физического объема ВРП подтверждает уменьшение значения этого показателя. Исключение составляет 2021 год, что связано с постковидным ростом, причем это восстановление не превышает уровень 2017 года.

Показатели видов экономической деятельности «строительство», «транспортировка и хранение» в целом также имели понижающий тренд за исключением 2021 года, что аналогично динамике ВРП. Показатель «строительство» в 2021 году вырос за счет темпов роста жилищного строительства и не отражает ввод в эксплуатацию объектов транспортно-логистической инфраструктуры. Доля объектов ТЛС в общем объеме вводимых в эксплуатацию зданий и сооружений в среднем составляет не более 5–7 %,

и в 2020–2023 годах значимых объектов в эксплуатацию не вводилось.

Показатель вида экономической деятельности (в соответствии с ОКВЭД) «транспортировка и хранение» показывает зависимость от показателей ВРП, и очевидно, что чем меньше производится, тем меньше перевозится. Также негативное влияние на эти показатели оказали уменьшение объемов транзитных грузов как межрегиональных, так и международных. Возросший показатель в 2022 году показывает постковидное оживление перевозок, однако в абсолютных значениях он не превысил уровень 2017 года.

В табл. 3 и на рис. 3 и 4 показана динамика региональных экономических показателей, которые в большей степени отражают влияние ТЛС на экономику региона⁸.

Показатели розничной торговли и перевозки грузов по аналогии с показателем ВРП также имели в 2022 году отрицательную динамику. Основными отчетливо видимыми причинами являлось уменьшение денежной



Таблица 3

Динамика взаимозависимых региональных экономических показателей

Показатели	Годы					
	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Оборот розничной торговли (в фактически действовавших ценах; млн руб.)	225 858	423 534	589 988	674 641	757 583	835 385
Индексы физического объема оборота розничной торговли (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году)	113,7	103,3	80,9	94,5	103,1	94,5
Перевозки грузов, млн т.	77,8	60,1	40,6	28,3	32,5	30,7
Грузооборот, млн т-км.	3 393	5 596	4 442	3 881	3 393	3 703

Источник: разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики⁸.

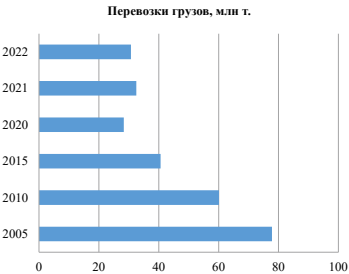


Рис. 3. Динамика показателей перевозки грузов [разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики⁸].

массы в сфере розничной торговли, количества коммерческих контрактов, что привело к снижению объемов торговли и перевозок.

Вторая причина, которая проявляется не сразу, а как правило, в течение длительного времени, – это уменьшение провозных, грузо-перерабатывающих и складских мощностей.

Справедливо замечание, что уменьшение объемов торговли вынуждает участников логистических цепочек сокращать свои мощности. Анализ подобного сокращения показывает более высокие темпы вывода транспортно-логистических объектов из производственно-логистической деятельности, чем темпы сокращения объемов розничной торговли.

Поскольку в силу своей большой инертности ввод логистических объектов в произ-

водственную деятельность будет отставать от более быстрого восстановления оборотов розничной торговли и соответственно дефицита транспортно-логистических услуг, возникает отрицательный эффект, сдерживающий рост оборота розничной торговли.

Следовательно, влияние состояния ТЛС на показатели розничной торговли и ВРП показывают очевидную зависимость и, соответственно, могут быть одним из факторов, определяющих экономическую устойчивость региона.

Вместе с тем анализ отраслей «строительство», «оптовая и розничная торговля», «транспорт и хранение» в целом коррелирует с показателями, приведенными в табл. 2 и 3, и более релевантно указывает на влияние уровня развитости региональной ТЛС на перечисленные отрасли (см. табл. 4)⁸.

Так, например, показатель «отраслевая структура валовой добавленной стоимости» показывает, что конечная функция цепочки поставок «торговля розничная и оптовая» демонстрирует процессы расширения и сжатия предпринимательской деятельности, проявляющиеся и в предыдущих отраслях. Анализ отрасли «транспорт и хранение» за 2020–2022 годы демонстрирует худшее значение в 2020 году (пандемия коронавируса) и незначительный подъем в 2021

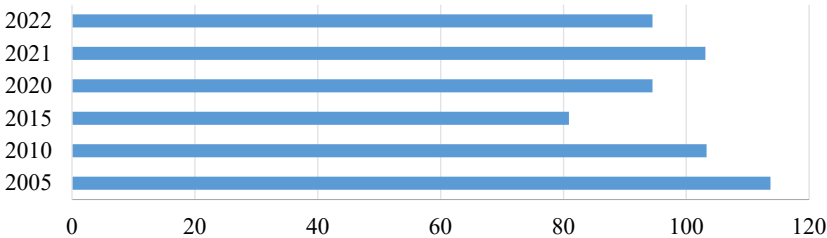


Рис. 4. Динамика показателей оборота розничной торговли [разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики⁸].

Динамика отраслевых показателей, релевантных уровню развитости ТЛС

№	Показатель	Отрасль											
		Строительство				Транспортировка и хранение				Торговля оптовая и розничная			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
1	Среднегодовая численность занятых по видам экономической деятельности (тыс. чел.)	134,8	129,1	140,2	131,1	144,2	121,7	141,7	1138	283,1	267,9	231,7	278,1
2	Отраслевая структура валовой добавленной стоимости (%)	5,3	4,9	5,6	5,1	5,9	5,7	6,1	6,0	10,5	7,8	10,2	9,8
3	Инвестиции в основной капитал по видам экономической деятельности (млн руб.)	3657,5	2989,6	3958,1	3451,7	98546	87548	99754	97800	7854	6987	7198	7321
5	Ввод в действие основных фондов по видам экономической деятельности (млн руб./доля)	6112/2,1 %	5675/1,4 %	6325/2,4 %	6037/2,0 %	11989/3,8 %	8562/3,1 %	12389/4,0 %	11454/3,7 %	41983/15,3 %	31085/9,9 %	43287/16,2 %	37715/12,2 %
6	Степень износа основных фондов по видам экономической деятельности (%)	57,6	47,1	60,3	56,4	74,2	62,9	79,7	73,3	59,1	47,9	61,7	56,3
7	Распределение числа организаций по видам экономической деятельности (на конец года)	9525	7564	12589	9454	22079	18698	23849	21878	6115	5569	6138	6040
8	Оборот организаций по видам экономической деятельности (млрд руб.)	97,7	79,9	99,9	94,5	641,1	603,5	617,8	620,7	432,2	350,8	420,9	390,3
9	Сальдированный финансовый результат организации по отдельным видам экономической деятельности (млн руб.)	6865	5987	6954	6804	30158	27856	34565	29362	5798	5107	5898	5505

Источник: разработано авторами с использованием данных Федеральной службы государственной статистики⁸.



и падение в 2022 году. То есть, возможность расширения функций консолидации, грузопереработки и распределения уменьшается, отчасти по причине уменьшения «торговли оптовой и розничной». Аналогичным образом происходит уменьшение объемов «строительства».

С другой стороны, уменьшение количества вводимых объектов складской недвижимости и, соответственно, уменьшение показателей «транспортировки и хранения» снижают объемы торговли.

Таким образом, возникает эффект, при котором максимальное значение транспортировки и хранения в 2018 году обеспечило рост показателя торговли в этом же году. В 2019 году значение «транспортировки и хранения» уменьшилось, однако показатель торговли, в силу низкой инерции, остался почти на прежнем уровне и показал значительное снижение только в 2020 году (отчасти по причине пандемии коронавируса).

Вместе с тем объем торговли в 2021 году увеличился на 2,6 % валовой добавленной стоимости по сравнению с 2020 годом и обеспечил незначительный рост «транспортировки и хранения» за аналогичный период на 0,4 %. Подобная инертность процесса может быть обусловлена значительным временным лагом при расширении объемов «строительства», «транспортировки и хранения» и малым временным лагом для увеличения показателя торговли.

Возникает несоответствие между снижением объемов торговли и более медленным (ввиду низкой инерционности) снижением показателей «строительства», «транспортировки и хранения» и наоборот интенсивное увеличение показателя торговли приводит к относительно более медленному восстановлению показателей «строительства», «транспортировки и хранения». Иными словами, рост торговли в начале года обеспечивает рост «строительства», «транспортировки и хранения» к началу следующего года, где временной лаг равен приблизительно одному году (см. табл. 4).

Очевидно таким образом, что указанные сферы деятельности, относящиеся к транспортно-логистическим услугам, которые обеспечиваются соответствующими инфраструктурными объектами, коррелируют с региональными показателями экономической деятельности. Поэтому, бесспорно, раз-

витость региональных ТЛС влияет на экономику региона и ее устойчивость.

Оценивая развитость региональной ТЛС, следует заметить, что на уровне региона были разработаны несколько законодательных инициатив для формирования региональной сети ТЛЦ.

Среди них постановление Правительства Самарской области от 23 сентября 2010 года № 422 «О Концепции развития региональной транспортно-логистической системы Самарской области на 2011–2015 годы» и Программа правительства Самарской области согласно Постановления № 441 от 12.07.2017 г. «О Стратегии социально-экономического развития Самарской области на период до 2030 года (с изменениями на 17 сентября 2019 года)».

В соответствии с постановлением Правительства Самарской области № 422 от 23 сентября 2010 года планировалось до конца 2015 года создание на территории области шести ТЛЦ (см. рис. 5).

Разработанная модель региональной системы ТЛЦ должна была усилить транзитный потенциал региона и стимулировать экономический рост региональной промышленности посредством предоставления комплексной транспортно-логистической услуги. Тем не менее, в условиях выгодного географического положения, наличия транспортных коммуникаций всех видов транспорта, развитой промышленности и науки концепция не была полностью реализована. На конец 2023 года Самарская область не обладала единой системой ТЛЦ, этот сектор экономики был представлен, кроме большого количества небольших и средних складов, несколькими крупными предприятиями, среди которых, например, «Средневолжская логистическая компания» (80 тыс. кв. м складских помещений), компания «СОЮЗ» (24 тыс. кв. м), «Волгатранстерминал» (10 тыс. кв. м), логистический комплекс «Придорожный» (48 тыс. кв. м).

В основном система ТЛЦ региона представлена корпоративными складами крупных компаний, которые обслуживают свои грузопотоки. К наиболее известным относятся ФГУП «Почта России», АО «Самараагропромпереработка», ООО «Озон», АО «Новокуйбышевская нефтехимическая компания», X5 Retail Group NV и другие.

Анализ ТЛЦ перечисленных компаний региона подтверждает, что создаваемые ими



Рис. 5. Планируемые ТЛЦ Самарской области
[разработано авторами на основе постановления Правительства Самарской области № 422 от 23 сентября 2010 г.].

собственные объекты предназначены для консолидации и распределения собственных же грузов, поэтому рассматривать их в контексте единой региональной системы ТЛЦ не совсем корректно.

Тем не менее, в соответствии с решением правительства Самарской области (постановление № 441 от 12.07.2017 г. «О Стратегии социально-экономического развития Самарской области на период до 2030 года (с изменениями на 17 сентября 2019 года)»), предусмотрено создание транспортно-логистической системы Самарской области на основе ТЛК, который по замыслу региональных властей обеспечит пространственное развитие производительных сил и повысит экономическую устойчивость Самарской области. Данное решение правительства области, в части формирования транспортно-логистической системы, по сути, предназначено для реализации не полностью выполненного постановления Правительства Самарской области № 422 от 23 сентября 2010 года, в виде создания логистического кластера.

Идея ТЛК заключается в обеспечении взаимодействия всех предприятий и организаций области, создании равного доступа к транспортно-логистическим услугам, повышении экономической эффективности межрегионального и международного сотрудничества. Очевидно, возможность реализации этой программы обеспечит пространственное развитие региона в соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года.

Таким образом, формирование и развитие регионального ТЛК, что по содержанию

и предназначению аналогично термину ТЛС, предполагает создание условий для повышения экономической эффективности региональной промышленности. Взаимовлияние между уровнем развитости региональной ТЛС и отраслями промышленности очевидно, однако следует определить, насколько эта связь влияет на их целевые показатели и уровень экономической устойчивости.

Для эконометрического обоснования взаимовлияния ТЛС и экономики региона использовался метод корреляционно-регрессионного анализа, который позволяет определить тесноту связи между показателями ТЛС и экономическими показателями региона. В качестве статистической базы анализа использованы данные Федеральной служба государственной статистики за 2017–2022 годы⁸. В табл. 5 приведены полученные результаты.

Они подтверждают предположение о влиянии показателей ТЛС на показатели ВРП и оборот розничной торговли. Каждый показатель ТЛС (x_i) имеет взаимосвязь хотя бы с одним экономическим региональным показателем (y_j). Для вычислительного эксперимента и в соответствии с методологией корреляционно-регрессионного анализа будем считать, что значение коэффициента выше 0,7 показывает сильную связь.

Определение значимости рассчитанных связей осуществляется множественной регрессией. В качестве переменных были выбраны валовой региональный продукт (y_1) и оборот розничной торговли (y_2). Переменные, ВРП и оборот розничной торговли, выбирались в соответствии с их значимостью для



Коэффициенты корреляции значений ТЛС и экономических показателей Самарской области

Экономические показатели региона	Показатели ТЛС Самарской обл.	Строительство объектов ТЛС, ед.	Транспортировка и хранение, млн т. грузов	Перевозки грузов, млн т.	Грузооборот, млн т-км.	Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	Число организаций ТЛС по видам экономической деятельности, ед.	Грузовой подвижной состав (грузовые автомобили), ед.	Пассажирооборот автобусов общего пользования, млн пасс-км.	Эксплуатационная длина автомобильных дорог, км.	Эксплуатационная длина железнодорожных путей, км.
ВРП, млн руб.		0,59	0,84	0,86	0,80	-0,45	0,53	0,39	0,82	0,92	0,47
Оборот розничной торг., млн руб.		0,76	0,79	0,91	0,82	0,34	0,76	0,81	-0,29	0,79	0,52

Источник: разработано авторами.

ТЛС. Для расчетов были выбраны следующие переменные: строительство объектов ТЛС (x_1); транспортировка и хранение (x_2); перевозка грузов (x_3); грузооборот (x_4); среднегодовая численность занятых (x_5); число организаций ТЛС по видам экономической деятельности (x_6); грузовой подвижной состав (грузовые автомобили) (x_7); пассажирооборот автобусов общего пользования (x_8); эксплуатационная длина автомобильных дорог (x_9); эксплуатационная длина железнодорожных путей (x_{10}). Для расчета регрессионной зависимости ТЛС и оборота розничной торговли были выбраны переменные: (x_1); (x_2); (x_3); (x_7). Вычислительный эксперимент показал следующие регрессионные зависимости:

$$y_1 = 19246,03 + 56,947x_1 + 410,124x_2 + 620,521x_3 + 308,231x_4 - 15,329x_5 + 27,329x_6 + 547,872x_7 + 28,453x_8 + 479,295x_9 + 19,787x_{10}; \quad (1)$$

$$y_2 = 9273,729 + 3,143x_1 + 349,274x_2 + 474,839x_3 + 624,472x_7. \quad (2)$$

Расчеты показали, что коэффициенты детерминации больше 0,75 являются значимыми и равны соответственно $R^2_1 = 0,987$ и $R^2_2 = 0,991$. Это подтверждает сильное влияние выбранных для расчета переменных на ВРП и оборот розничной торговли в Самарской области.

Для первой модели наиболее значимыми показателями являются: транспортировка и хранение (x_2); перевозка грузов (x_3); грузовой подвижной состав (грузовые автомобили) (x_7); эксплуатационная длина автомобильных дорог (x_9). Для второй модели – грузовой

подвижной состав (грузовые автомобили) (x_7); перевозка грузов (x_3).

Следовательно, транспортировка и хранение, перевозка грузов, грузовой подвижной состав (грузовые автомобили), эксплуатационная длина автомобильных дорог наиболее сильное влияние оказывают на региональный ВРП, а перевозка грузов и эксплуатационная длина автомобильных дорог – на оборот розничной торговли.

ВЫВОДЫ

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ показывает влияние показателей ТЛС Самарской области на региональный ВРП и оборот розничной торговли, поэтому первоначальное предположение о наличии такой связи подтверждается.

Очевидно, что выявленную взаимосвязь ТЛС и экономических показателей региона возможно интерпретировать как фактор, определяющий уровень экономической устойчивости региона. Комплекс анализируемых региональных экономических показателей, включая состояние ТЛС, определяет уровень экономической устойчивости через систему результирующих групп показателей [9–12]. Например, это показатели производственной устойчивости, показатели инвестиционной устойчивости и другие.

Вместе с тем региональную экономическую устойчивость нельзя рассматривать как совокупность статичных, постоянных и не изменяющихся групп показателей, тогда как внешняя экономическая среда находится

в состоянии постоянных изменений. Устойчивость региональной экономики – это непрерывные социально-экономические, включая производственно-технические, логистические изменения, которые приводят региональную экономику в состояние нового равновесия, предполагающего достижение требуемых, лучших экономических показателей.

Следовательно, способность региональной экономики адаптироваться к новым условиям хозяйственной деятельности, возвращаться в состояние равновесия, которое характеризуется лучшими целевыми экономическими показателями, следует понимать как экономическую устойчивость. Об этом свидетельствует и предварительная оценка правильности сделанных выводов в условиях положительной динамики показателей рассматриваемого региона в 2023 году, не вошедшая в силу отсутствия на момент подготовки публикации данных для детального анализа, в рассматриваемое исследование.

Анализ динамики показателей ТЛС показывает их влияние на выделенные в работе региональные экономические показатели, а проведенный регрессионный анализ подтверждает высокий уровень корреляции и, очевидно, характеризует экономическую устойчивость. В контексте исследования состояние ТЛС можно рассматривать как внешний фактор воздействия на показатели ВРП и оборота розничной торговли. Это также подтверждается другими исследованиями, посвященными комплексной оценке эффективности транспортно-логистических систем регионов [39].

Кроме того, получило подтверждение предположение о влиянии на региональную экономическую устойчивость внешних факторов.

ВРП может быть использован в качестве индикатора динамики изменения региональной экономической устойчивости. Анализ региональных экономических показателей⁸ (табл. 2–4) показывает это влияние. Так, индекс физического объема валового регионального продукта (табл. 2) показывает незначительное увеличение этого показателя с 100,8 % в 2017 году до 101,4 % в 2019 году. В 2020 году произошло снижение до 94,1 %, восстановление в 2021 году до 105,3 % относительно падения в 2020 году и снижение в 2022 году до 97,8 %. То есть под воздействием эндогенных факторов, если рассмат-

ривать региональную экономику в целом, показатель ВРП снижается, затем восстанавливается в прежних или в больших значениях. К эндогенным факторам, исследуемым в работе, относятся показатели: транспорт и хранение, оборот оптовой и розничной торговли, строительство, перевозки грузов и грузооборот, которые влияют на объемы производимых товаров и услуг и формируют ВРП. Динамика перечисленных факторов коррелирует с динамикой ВРП, что подтверждает их влияние на экономическую устойчивость. Наиболее устойчивое состояние по показателю ВРП, если брать период 2017–2022 годов, наблюдалось в 2019 и в 2021 годах, что повторяет динамику агрегированных эндогенных факторов и соответственно подтверждает не только результаты выполненного корреляционно-регрессионного анализа, но и влияние этих факторов на региональную экономическую устойчивость.

Очевидно, снижение показателей ВРП и оборота розничной торговли и соответственно экономической устойчивости опосредованно происходит из-за снижения показателей, относящихся к транспорту и хранению, объемам перевозок, инвестициям в основной капитал, вводу в действие основных фондов. Поэтому возврат к положительному росту анализируемого тренда, что соответствует повышению экономической устойчивости, зависит от устранения барьеров, препятствующих улучшению перечисленных показателей.

В исследовании проведен сравнительный анализ подходов к определению ТЛС от отраслевого до пространственного. Следует отметить, что при разнообразии форм экономической деятельности востребованными остаются все три подхода. Тем не менее, несмотря на большую популярность и экономическую востребованность кластерного подхода, широкого внедрения на уровне регионов он не получил. Подход требует более структурированную и обеспеченную ресурсами постановку задачи развития транспортно-логистических систем, которые соответствовали бы минимально необходимой экономической инфраструктуре и, в первую очередь, транспортно-логистической, а также более эффективного взаимодействия и координации между предприятиями и органами власти, закрепленными законодательными докумен-



тами. Поэтому доминирующим остается отраслевой подход.

С другой стороны, пространственный подход отчасти решает задачу пространственной связанности субъектов экономической деятельности при отсутствии экономического администрирования на основе заинтересованности хозяйствующих субъектов в результатах своей деятельности.

На основе анализа статистических региональных экономических показателей за 2017–2022 годы определены ключевые составляющие региональной ТЛС. Корреляционно-регрессионный анализ показал высокий уровень влияния и взаимосвязи между региональной ТЛС и ключевыми региональными экономическими показателями. Полученные зависимости подтверждают влияние отдельных факторов ТЛС на ВРП и оборот розничной торговли. Наиболее значимыми факторами воздействия на ВРП являются транспортировка и хранение, перевозка грузов; грузовой подвижной состав. Для оборота розничной торговли – грузовой подвижной состав (грузовые автомобили); перевозка грузов. Кроме того, в работе обосновывается предположение о влиянии на региональную экономическую устойчивость факторов ТЛС, где под устойчивостью понимается способность восстанавливать прежние региональные экономические показатели в соответствии с планируемыми целевыми значениями.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать вывод, что ТЛС является не только одной из ключевых систем региональной экономики, но и одним из факторов обеспечения экономической устойчивости. Следовательно, планирование целевых экономических показателей и уровня экономической устойчивости следует планировать вместе с целевыми показателями элементов региональной ТЛС. В этой связи, например Программа правительства Самарской области «О Стратегии социально-экономического развития Самарской области на период до 2030 года» возможно требует доработки в части включения раздела «Формирование и развитие региональной ТЛС» и определения взаимоувязанных целевых показателей ТЛС с ключевыми региональными экономическими индикаторами.

В целом уровень развитости региональных экономик, их взаимодействия и взаимозависимости, экономической устойчивости

и практики ресурсосбережения априори обеспечивает устойчивый рост макроэкономических показателей и, следовательно, комплексное социально-экономическое развитие субъектов Российской Федерации и является одной из ключевых задач органов власти всех уровней управления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Квитко К. Б. Структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021 – Т. 7 – № 4. – С. 76–89. DOI: 10.17816/transsyst20217476-89.
2. Каменик Л. Л. Ресурсосберегающая политика и ресурс ее реализации в формате эволюционного развития. – Изд. 2-е допол. – СПб.: 2012. – 477 с. ISBN 978-5-8088-0686-3.
3. Мюррей Р. Ноль отходов «Zero Waste» – альтернативная концепция управления отходами // Экология и жизнь. – 2004. – № 6 (41). – С. 16–18.
4. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения – 2020: сб. научных трудов / Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 632 с. ISBN 978-5-7996-3379-0.
5. Савенко А. А., Столярова Ю. В., Шадрин О. М. Ресурсосбережение в современном строительстве. Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 11. – С. 112–121. EDN: XMRKVF.
6. Магомедов А. М. Транспортная подсистема в логистической системе региона // Управление экономическими системами. – 2013. – № 11 (59). – ст. 15. EDN: QFQNXA.
7. Меньшенина И. Г., Капустина Л. М. Кластерообразование в региональной экономике: Монография. – Екатеринбург: Урал. гос. экон. ун-т, 2008. – 154 с. ISBN 978-5-9656-013-4. EDN: SHIDWV.
8. Прокофьева Т. А., Хаиров Б. Г. Логистические кластеры в экономике России: Монография / Под общей редакцией д.э.н., профессора Т. А. Прокофьевой. – М.: ОАО «ИТКОР», 2016. – 416 с. ISBN 978-5-00082-038-4.
9. Растворцева С. Н., Снитко Л. Т., Череповская Н. А. Методика оценки экономического потенциала для развития кластеров в регионе // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 30 (219). – С. 20–32. EDN: QYVSZF.
10. Султанов А. Г. Интеграция транспортно-логистических кластеров в систему национальных и международных транспортных коридоров / Автореф. дисс... канд. экон. наук. – М.: Институт исследования товародвижения и конъюнктуры рынка, 2017. – 154 с.
11. Патракеева О. Ю. Транспортная система Ростовской области: инфраструктурные ограничения и перспективы развития // Региональная экономика. Юг России. – 2021. – Т. 9. – № 2. – С. 95–104. DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2021.2.10>.
12. Юрченко А. Ю. Исторические основы возникновения и развития экономических теорий экономической устойчивости предприятий // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2017. – № 8-1 (28). – С. 119–123. EDN: ZUKNBF.
13. Баранова В. Е., Николаева Е. Ф. Экономическая устойчивость предприятия // Academy. – 2018. – № 10 (37). – С. 18–24. EDN: YLQIVV.
14. Демьянова О. В., Ишкова Е. И. Особенности формирования стратегии устойчивого развития предприятия в условиях современного кризиса // Финансы

и кредит. – 2017. – Т. 23. – Вып. 6. – С. 310–319. DOI: <https://doi.org/10.24891/fc.23.6.310>.

15. Бабурина О. Н., Садыков Э. А. Разработка и апробация методики оценки экономической устойчивости морского портового оператора / Экономический анализ: теория и практика. – 2021. – Т. 20. – № 5 (512). – С. 924–958. DOI: 10.24891/ea.20.5.924.

16. Савицкая Ж. С. Экономическая устойчивость промышленных предприятий: сущность и основные показатели // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2017. – № 1–2. – С. 155–159. [Электронный ресурс]: <https://sciup.org/jekonomicheskaja-ustojchivost-promyshlennyh-predpriyatij-tijsushhnost-i-osnovnye-14875799>. Доступ 15.04.2024.

17. Тополева Т. Н. Исследование принципов и факторов устойчивого развития промышленного предприятия // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 6 (85). – С. 85–96. EDN: XSZDCP.

18. Сафонова Т. Ю. Обеспечение экономической устойчивости компаний нефтегазового сектора в условиях высокой волатильности цен на энергоресурсы // Российское предпринимательство. – 2012. – Т. 13. – № 7. – С. 98–102. [Электронный ресурс]: <https://1economic.ru/lib/7420?ysclid=m2yxvnr7a499710318>. Доступ 15.04.2024.

19. Комиссарова М. А., Рыгаловский Д. М. Возможности управления рисками для достижения устойчивого развития предприятия // Российское предпринимательство. – 2016. – Т. 17. – № 22. – С. 3197–3206. DOI: 10.18334/tp.17.22.37027.

20. Невмывако В. П. Обеспечение экономической устойчивости предприятий путем оптимизации системы управления качеством услуг // Экономика и социум: современные модели развития. – 2018. – Т. 8. – № 2 (20). – С. 22–32. EDN: YPTPUD.

21. Афонасова М. А. К вопросу об устойчивости экономических систем в условиях неопределенности внешней среды // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 2. – С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.994>.

22. Бардаль А. Б. Системно-иерархический подход к изучению транспортного комплекса региона: методология и апробация для Дальнего Востока. // Известия ДВФУ. Экономика и управление. – 2022. – № 2. – С. 5–17. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2022-2/5-17>.

23. Тюнен И. фон. Изолированное государство. – М.: Экономическая жизнь, 1926. – 326 с. [Электронный ресурс]: <https://archive.org/details/Tunen>. Доступ 19.04.2024.

24. Вебер А. Теория размещения промышленности. – Л.-М.: Книга, 1926. – 223 с.

25. Леш А. Пространственная организация хозяйства. – М.: Наука, 2007. – 663 с. ISBN 978-5-02-035367-1.

26. Колосовский Н. Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // Вопросы географии. – 1947. – № 6. – С. 133–168. EDN: ZBFRBF.

27. Бандман М. К. Территориально-производственные комплексы: теория и практика предплановых исследований. – Новосибирск: Наука, 1980. – 256 с. [Электронный ресурс]: http://lib.ieie.su/docs/2000before/Bandman1980Territorialno_proizvodstvennye_kompleksy_teorija_i_praktika.pdf. Доступ 15.04.2024.

28. Ottaviano, G., Thisse, J.-F. Chapter 58. Agglomeration and economic geography. In: Handbook of Regional and Urban Economics, 2004, Vol. 4, pp. 2563–2608. DOI: 10.1016/S1574-0080(04)80015-4.

29. Fujita, M., Thisse, J.-F. Does Geographical Agglomeration Foster Economic Growth? And Who Gains and Losses from It? The Japanese Economic Review, 2003, Vol. 54, Iss. 2, pp. 121–145. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1111/1468-5876.00250>. Доступ 15.04.2024.

30. Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. The Spatial Economy. Cities, Regions, and International Trade. Cambridge, MA: MIT-Press, 1999, 367 p.

31. Krugman, P. Development, geography and economic theory. Cambridge: MIT Press, 1995, 117 p. DOI: 10.2307/1243317.

32. Krugman, P. Urban Concentration: the Role of Increasing Returns and Transport Costs. International Regional Science Review, 1996, Vol. 19, Iss. 1–2, pp. 5–30. DOI: 10.1177/016001769601900202.

33. Портер М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993. – 378 с. ISBN: 5–7133–0413–2.

34. Asheim, B., Gertler, M. Understanding regional innovation systems. Handbook of Innovation. Oxford: Oxford University Press, 2004, 329 p. ISBN 978–0–19–926455–1.

35. Isaksen, A., Trippel, M. Regional industrial path development in different regional innovation systems: A conceptual analysis. Papers in Innovation Studies, Lund University, CIRCLE. Centre for Innovation Research, 2014, 17 p. [Электронный ресурс]: https://wp.circle.lu.se/upload/CIRCLE/workingpapers/201417_Isaksen_Trippel.pdf. Доступ 17.04.2024.

36. Humphrey, J., Schmitz, H. Governance and Upgrading: Linking Industrial Clusters and Global Value Chain Research. IDS Working Paper 120. Institute of Development Studies, 2020, 37 p. ISBN 1858643341.

37. Болгова Е. В., Болгов С. А., Курникова М. В. Рейтинговый метод в оценке пространственной организации высшего образования: опыт Франции // Ars Administrandi (Искусство управления). – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 687–721. DOI: <https://doi.org/10.17072/10.17072/2218-9173-2018-4-687-721>.

38. Сергеев В. И. Общие тенденции развития логистических центров за рубежом // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 5 (52). – С. 7–18. EDN: PWPSRR.

39. Кудрявцев А. М., Руднева Л. Н. Методика комплексной оценки эффективности функционирования транспортной инфраструктуры региона // Российское предпринимательство. – 2014. – № 8 (254). – С. 109–121. EDN: SCBVNT. ●

Информация об авторах:

Хайтбаев Валерий Абдурахманович – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и логистики на транспорте Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия, vhaitbaev21@mail.ru.

Черняев Евгений Васильевич – кандидат экономических наук, докторант Вольского военного института материального обеспечения, Вольск, Россия; ki-la@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 29.04.2024, одобрена после рецензирования 20.05.2024, принята к публикации 30.05.2024.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.089

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-13>

Исследование влияния присутствия пассажира в автомобиле на скорость движения



Александр ПОПОВ



Галина ЧЕРНОВА



Марина ВЕЛИКАНОВА

*Александр Владимирович Попов¹, Галина Анатольевна Чернова², Марина Владимировна Великанова³**^{1, 2, 3} Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия.**✉ ¹ alexandrus238@yandex.ru.*

АННОТАЦИЯ

Большое количество жертв ДТП во всем мире создает серьезную проблему для экономики, демографии, здравоохранения. Значение общемирового показателя социального риска, рассчитанного по соответствующей методике, находится в пределах 18, в России – 9,7. Статистические данные показывают, что деятельность государства в Российской Федерации по повышению безопасности дорожного движения эффективна. В последние десять лет основные показатели аварийности в Российской Федерации, несмотря на увеличивающийся уровень автомобилизации, улучшаются. Федеральными нормативными документами предусмотрено дальнейшее снижение значения целевого показателя социального риска к 2030 году до уровня 4.

Превышение скорости и несоответствие скорости конкретным условиям движения – самая распространенная причина ДТП (19 % от общего количества). Идеи многих урбанистов, зачастую не опирающиеся на специализированные исследования в сфере безопасности дорожного движения, по принудительному отказу от автомобилей и снижению скорости в городах не могут быть осуществлены в полном объеме, хотя точно имеют положительные результаты.

В то же время на вероятность возникновения ДТП оказывают значительное влияние индивидуальные особенности водителей, такие как возраст, пол, общая склонность к риску. Один из факторов совершения ДТП, особенно молодыми водителями, – это присутствие пассажиров-сверстников. Они могут быть причиной опасного вождения, невнимательности, желания водителя «показать себя». Водители старшего возраста наоборот становятся более внимательными и аккуратными в присутствии пассажиров. Однако в научной литературе существуют и противоположные результаты (пассажиры у молодых водителей могут оказывать положительный эффект, а у старших – отрицательный).

В этой связи в контексте выработки рекомендаций по снижению показателей аварийности является актуальным вопрос о целесообразности некоторых ограничений для молодых водителей. Цель работы – установить влияние пассажира-сверстника на скорость движения для молодого водителя и сравнить с влиянием пассажира на водителя старшего возраста. Метод исследования – эксперимент, в рамках которого молодые водители в возрасте от 18 до 25 лет и более опытные водители старше 35 лет проезжали по установленному маршруту с пассажиром и без, при этом фиксировалась скорость движения. У большинства молодых водителей зафиксировано увеличение скорости при движении с пассажиром-сверстником. Принимая во внимание, что большинство молодых людей переоценивают свои возможности при управлении автомобилем, нарушение скоростного режима под воздействием пассажира может повлечь за собой возникновение ДТП. По результатам работы предлагается: внедрить систему поэтапного доступа к управлению автомобилем, ввести запрет на перевозку пассажиров до достижения определенного возраста или получения соответствующего опыта и усовершенствовать программы профессионального обучения водителей.

Принимая во внимание, что большинство молодых людей переоценивают свои возможности при управлении автомобилем, нарушение скоростного режима под воздействием пассажира может повлечь за собой возникновение ДТП. По результатам работы предлагается: внедрить систему поэтапного доступа к управлению автомобилем, ввести запрет на перевозку пассажиров до достижения определенного возраста или получения соответствующего опыта и усовершенствовать программы профессионального обучения водителей.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, водитель, скорость движения, поведение водителя, молодой водитель, безопасность движения.

Для цитирования: Попов А. В., Чернова Г. А., Великанова М. В. Исследование влияния присутствия пассажира в автомобиле на скорость движения // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-13>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.

The full text of the article translated into English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в дорожно-транспортных происшествиях погибает или получает серьезные травмы большое число людей, и, следовательно, дорожно-транспортные происшествия представляют собой значительную проблему для экономики, демографической ситуации, общественного здравоохранения. В наиболее благополучном с точки зрения безопасности движения европейском регионе ВОЗ показатель дорожно-транспортной смертности составляет 8,8 на 100 000 человек, в то время как общемировой показатель составляет 18,2 на 100 000 человек¹. В России по итогам 2022 года показатель социального риска составил 9,68². Стоит отметить, что в целом динамика трех основных показателей аварийности (количества ДТП, числа погибших и раненых) на протяжении более чем десяти лет в России стабильно снижается. В то же время растет уровень автомобилизации (за десять лет с 2012 по 2022 увеличился почти на треть). Данное соотношение показателей описывает модель Рубена Смида, отражающая фундаментальный принцип взаимосвязи уровня автомобилизации и дорожно-транспортной смертности (при некотором уровне автомобилизации отмечается рост транспортного риска, который впоследствии снижается, а уровень автомобилизации продолжает расти) [1; 2]. Федеральным проектом «Безопасность дорожного движения» целевой показатель к 2030 году установлен на уровне 4.

Некоторые характеристики водителя, такие как возраст и пол, влияют на вероятность совершения ДТП, и риск выше среди молодых водителей, особенно мужчин [3]. Помимо этого общая склонность к риску у молодых водителей значительно выше [4; 5]. Присутствие пассажиров – это еще один фактор, который по-разному влияет на вероятность дорожно-транспортных происшествий. Может проявляться как положительный (т.е. защитный) эффект присутствия пассажиров (риск аварии выше при движении в одиноч-

ку), так и отрицательный эффект вождения с пассажирами. Будет ли эффект положительным или отрицательным, зависит от различных ситуационных факторов: возраста и пола водителя, а также количества, возраста и пола пассажиров [6]. Опасное вождение и невнимательность, спровоцированные молодыми пассажирами, являются двумя основными формами поведения, предшествующими ДТП среди молодых водителей [7]. Одним из главных проявлений рискованного поведения в данной ситуации является превышение скорости [8]. Для водителей старшего возраста, особенно если пассажирами являются дети, характерно более аккуратное вождение с меньшей скоростью, чем в одиночку [9]. В то же время некоторые исследования не выявили разницы между вождением с пассажиром и в одиночку [10]. Наличие неоднозначных результатов позволяет предположить, что могут существовать особые условия, при которых проявления рискованного вождения у молодых водителей встречаются чаще [11].

Взаимосвязь возраста водителя и качества вождения давно и широко изучается. Водители моложе 24–25 лет и неопытные водители (особенно имеющие водительский стаж менее трех лет) наиболее подвержены ДТП [12]. Молодые водители более импульсивны, нетерпеливы, энергичны, склонны к риску. Такие водители не способны оценивать объективно ситуацию, инстинкт самосохранения у них практически отсутствует, а самоуверенность крайне высока. Одна из главных причин ДТП – превышение скорости [13; 14].

В целом, пассажиры-сверстники могут влиять на поведение молодого водителя, непосредственно поощряя нарушения, а также моделируя поведение. Они также могут влиять на поведение через свое общее отношение, предлагая, насколько приемлемым является то или иное поведение. Влияние может быть прямым, например, посредством вербальных и явных невербальных выражений поощрения (или осуждения). Влияние может также действовать косвенно через социальные нормы, которые могут передаваться посредством моделирования [15]. В России вопрос влияния пассажира на движение слабо исследован и представлен в основном техническими исследованиями влияния загрузки на динамику автомобиля [16; 17].

¹ Доклад о состоянии безопасности дорожного движения в Европейском регионе ВОЗ 2019. Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ; 2020. [Электронный ресурс]: <https://iris.who.int/handle/10665/333758>. Доступ 05.10.2023.

² Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2023. – 150 с. – С. 5.



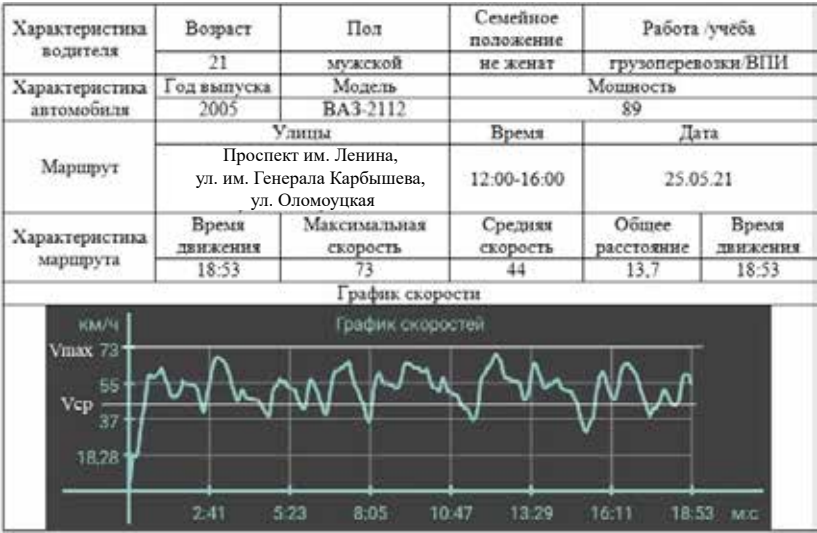


Рис. 1. Пример протокола эксперимента [выполнено авторами].

Нарушение скоростного режима является одним из самых распространенных видов нарушений ПДД и стало в 2022 году причиной почти пятой части (19 %) всех ДТП. Происшествия, связанные с нарушением скоростного режима движения, включают произошедшие из-за несоответствия скорости конкретным условиям движения (92 %) и превышения установленной скорости движения (8 %). На долю молодых водителей в возрасте 20–24 лет приходится 11 % таких ДТП².

В последние годы набирают популярность идеи урбанистов, призывающих к различным методам дискриминации водителей и полному отказу от автомобиля, снижению скорости в городах. Положительный опыт снижения скорости до 30–40 км/ч существует [18–20], однако далеко не везде может быть применен. Пропагандируемые, например, профессором Пенсильванского университета Вуканом Р. Вучиком идеи принудительного полного отказа от автомобилей и перехода к пешеходному движению в городах [21, С. 382], на наш взгляд, утопичны и неосуществимы, а принуждение водителей к отказу от автомобиля путем введения платы за каждую поездку [21, С. 509] являются дискриминацией по имущественному признаку.

Напротив, с учетом долговременного снижения показателей аварийности в Российской Федерации можно сделать вывод об эффективности тех мер, которые принимаются органами исполнительной власти в рамках государственной политики безопасности дорожного движения.

Однако некоторые направления требуют дополнительного внимания, в том числе в плане введения ограничений для молодых и малоопытных водителей [22]. Цель данной работы – установить влияние пассажира-сверстника на скорость движения для молодого водителя и сравнить с влиянием пассажира на водителя старшего возраста. Метод исследования – эксперимент, для участия в котором были отобраны молодые люди в возрасте от 18 до 25 лет и более опытные водители старше 35 лет, имеющие водительское удостоверение и использующие личный легковой автомобиль.

В исследовании были задействованы две группы водителей разных возрастных категорий, по десять человек каждая. Средний возраст составил 21,5 и 41,5 лет. Для проведения исследования путем измерения показателей в процессе движения был выбран следующий маршрут: г. Волжский, проспект Ленина от Площади строителей – ул. Оломоуцкая – ул. им. Генерала Карбышева до пересечения с ул. Молодежной. Протяженность маршрута около 13 км. С помощью приложения «Геотрекер – GPSTрекер» (для ОС Android) составлялись графики зависимости скоростей движения от времени.

Для каждого из десяти водителей в группе проводилось по три заезда с пассажиром и без пассажира. При выборе условий проведения эксперимента учитывались рекомендации по обследованию скорости движения транспортных средств, установленные в Распоряжении Министерства транспорта РФ от 27 декабря 2022 г. № АК-337-р «Об утверждении мето-

Таблица 1

Итоговые данные испытаний молодых водителей

Водитель	Испытание без пассажира, скорость в км/ч	Средняя скорость по трем заездам	Испытание с пассажиром, скорость в км/ч	Средняя скорость по трем заездам	Возраст
1	36, 44, 36	38,6	40, 37, 38	38,3	21
2	25, 37, 36	32,6	37, 37, 36	36,6	24
3	46, 46, 42	44,6	47, 52, 44	47,6	21
4	43, 43, 45	43,6	43, 43, 45	43,6	20
5	38, 36, 36	37,3	40, 43, 37	40	22
6	35, 35, 37	35,6	45, 47, 44	45,3	21
7	32, 32, 40	34,6	38, 37, 38	37,6	22
8	40, 40, 29	36,3	41, 47, 37	41,6	20
9	36, 36, 38	37,3	38, 36, 38	37,2	21
10	33, 35, 35	34,3	41, 36, 38	38,3	23
Средний возраст					21,5

Таблица 2

Итоговые данные испытаний водителей старшего возраста

Водитель	Испытание без пассажира, скорость в км/ч	Средняя скорость по трем заездам	Испытание с пассажиром, скорость в км/ч	Средняя скорость по трем заездам	Возраст
1	40, 37, 37	38	36, 36, 38	36,6	41
2	45, 42, 40	42,3	43, 38, 33	38	46
3	40, 37, 31	36	34, 33, 31	32,6	37
4	39, 42, 33	38	36, 31, 32	33	36
5	32, 36, 40	36	38, 40, 38	38,6	45
6	48, 44, 48	46,6	32, 37, 36	35	52
7	36, 36, 36	36	32, 37, 36	35	38
8	43, 33, 37	37,6	38, 34, 39	37	42
9	34, 49, 31	38	40, 43, 42	41,6	35
10	37, 36, 33	35,3	35, 35, 31	33,6	42
Средний возраст					41,4

дических рекомендаций по проведению мониторинга дорожного движения».

Соответствующие испытания были проведены в апреле-июне 2022 года.

Результаты и исходные данные заносились в протоколы (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Каждому водителю в соответствующей возрастной категории был присвоен условный порядковый номер с 1 до 10. Было зафиксировано превышение средней скорости при движении с пассажирами у молодых водителей 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10. Средняя скорость была примерно одинакова как с пассажирами, так и без у водителей 1, 4 и 9 (табл. 1, рис. 2).

Среди водителей старшего возраста зафиксировано снижение средней скорости при движении с пассажирами у водителей 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10. Средняя скорость была примерно одинакова как с пассажирами, так и без у водителей 5 и 9 (табл. 2, рис. 3).

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Таким образом, наличие пассажира-сверстника вместе с молодым водителем, ввиду более частого нарушения скоростного режима, может являться причиной значительного числа ДТП, в том числе с погибшими и ранеными. Учитывая обычное в молодежной среде завышение своих возможностей в работоспособности и скорости реакции, знаний об автомобиле и методах управления им, назрела необходимость введения ограничений для молодых и неопытных водителей, в том числе на перевозку пассажиров. В возрастной группе водителей 35 лет и старше прослеживается обратная динамика, то есть присутствие пассажира в большинстве случаев либо не влияет на скорость движения, либо скорость движения снижается.

Одними из основных направлений реализации Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–



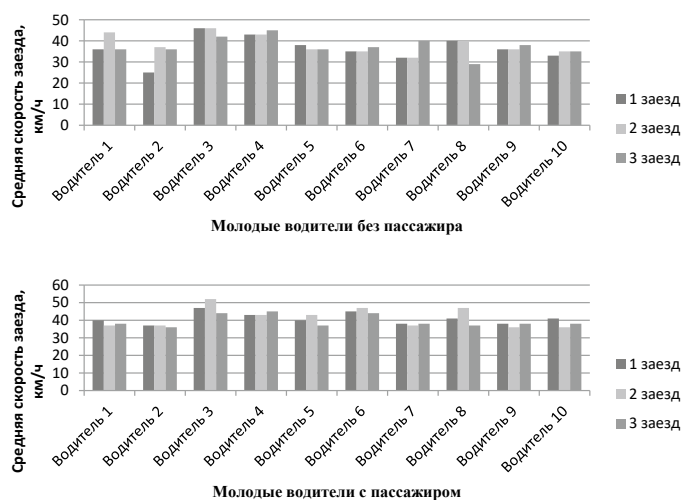


Рис. 2. Диаграммы средних скоростей движения для молодых водителей [выполнено авторами].

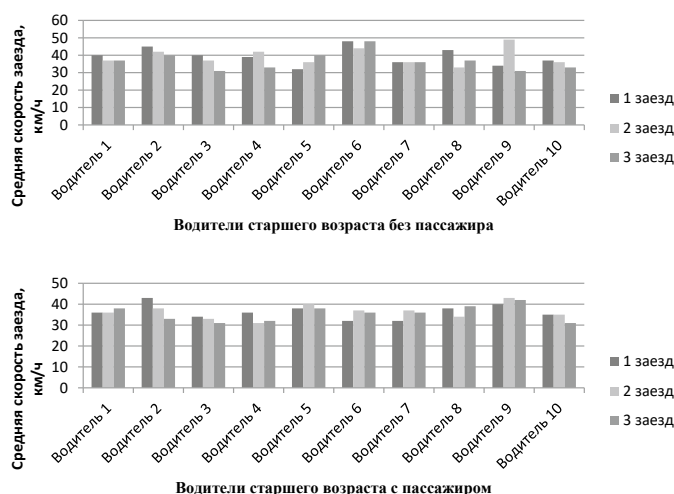


Рис. 3. Диаграммы средних скоростей движения для водителей старшего возраста [выполнено авторами].

2024 гг. являются изменение поведения участников дорожного движения с целью безусловного соблюдения норм и правил дорожного движения и совершенствование организационно-правовых механизмов допуска транспортных средств и их водителей к участию в дорожном движении. В рамках реализации данной стратегии и достижения целевых показателей федерального проекта «Безопасность дорожного движения», принимая во внимание представленные в работе результаты исследования, возможно принятие ряда мер.

1. Сохранение минимального возраста получения права управления транспортным средством в пределах 18 лет и внедрение системы поэтапного доступа к управлению транспортным средством для только получивших водительское удостоверение лиц всех возрастов,

положительно зарекомендовавшей себя в наиболее благополучных с точки зрения дорожно-транспортной аварийности странах [23].

2. Запрет на перевозку пассажиров для молодых водителей до достижения определенного возраста или получения соответствующего опыта.

3. В рамках преподавания предмета «Психофизиологические основы деятельности водителя» при обучении в автошколах необходимо проведение тестирования на склонность к рискованному поведению, что может быть закреплено актуализацией Приказа Минпросвещения РФ от 08.11.2021 № 808 «Об утверждении примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Блинкин М. Я., Решетова Е. М. Институциональные новации и математические модели Рубена Смида в свете современных российских транспортных реалий // Городские исследования и практики. – 2019. – Т. 4. – № 1. – С. 43–63. DOI: 10.17323/usp41201943-63.
2. Koren, C., Borsos, A. Is Smeed's law still valid? A world-wide analysis of the trends in fatality rates. *Journal of society for transportation and traffic studies*, 2010, Vol. 1, Iss. 1, pp. 64–76. [Электронный ресурс]: https://real.mtak.hu/30558/7/is_smeeds_law_still_valid.pdf. Доступ 22.12.2023.
3. Nyberg, A., Gregersen, N. P. Practicing for and performance on drivers license tests in relation to gender differences in crash involvement among novice drivers. *Journal of Safety Research*, 2007, Vol. 38, Iss. 1, pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.jsr.2007.01.001.
4. Попов А. В. Исследование склонности к риску среди водителей легковых автомобилей в возрасте 18–25 лет // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19. – № 3 (94). – С. 96–102. DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-3-10.
5. Попов А. В. Исследование склонности к риску среди водителей некоммерческого транспорта в Российской Федерации // Грузовик. – 2021. – № 11. – С. 30–34. DOI: 10.36652/1684-1298-2021-11-30-34.
6. Engström, I., Gregersen, N. P., Granström, K., Nyberg, A. Young drivers – Reduced crash risk with passengers in the vehicle. *Accident Analysis & Prevention*, 2008, Vol. 40, Iss. 1, pp. 341–348. DOI: 10.1016/j.aap.2007.07.001.
7. Curry, A. E., Mirman, J. H., Kallan, M. J., Winston, F. K., Durbin, D. R. Peer passengers: how do they affect teen crashes? *Journal of Adolescent Health*, 2012, Vol. 50, Iss. 6, pp. 558–594. DOI: 10.1016/j.jadohealth.2011.10.016.
8. Shepherd, J. L., Lane, D. J., Tapscott, R. L., Gentile, D. A. Susceptible to Social Influence: Risky «Driving» in Response to Peer Pressure. *Journal of Applied Social Psychology*, 2011, Vol. 41, Iss. 4, pp. 773–797. [Электронный ресурс]: <https://drdouglass.org/wp-content/uploads/2019/03/shepherd2011.pdf>. Доступ 22.12.2023.
9. Bedard, M., Meyers, J. R. The influence of passengers on older drivers involved in fatal crashes. *Experimental Aging Research*, 2004, Vol. 30, pp. 205–215. DOI: 10.1080/036107304090275111.
10. Drews, F. A., Pasupathi, M., Strayer, D. L. Passenger and Cell Phone Conversations in Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology*, 2008, Vol. 14, Iss. 4, pp. 392–400. DOI: 10.1037/a0013119.
11. Ouimet, M. C., Pradhan, A. K., Simons-Morton, B. G., Divekar, G., Mehranian, H., Fisher, D. L. The effect of male teenage passengers on male teenage drivers: Findings from a driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 2013, Vol. 58, pp. 132–139. DOI: 10.1016/j.aap.2013.04.024.
12. Amett, J. J. Developmental sources of crash risk in young drivers. *Injury Prevention*, 2002, Vol. 8, Suppl. II, pp. 17–23. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii17.
13. Казьмина Е. В., Железнов Е. И. Влияние стажа и возраста водителя на безопасное управление автомобилем // Изв. ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – 2012. – № 2. – С. 64–66. (Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 5). [Электронный ресурс]: <https://www.vstu.ru/uploadiblok/files/izvestiya/archive/3/2012-02.pdf> [полный текст сборника]. Доступ 17.02.2024.
14. Попов А. В., Гончаревич Д. В., Соколов Р. О. Проблемы молодежной аварийности // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 5. – С. 14–17. EDN: WAOVDT.
15. Ouimet, M. C., Pradhan, A. K., Brooks-Russell, A., Ehsani, J. P., Berbiche, D., Simons-Morton, B. G. Young Drivers and Their Passengers: A Systematic Review of Epidemiological Studies on Crash Risk. *Journal of Adolescent Health*, 2015, Vol. 57, Iss. 1, Suppl., pp. S24–S35. DOI: 10.1016/j.jadohealth.2015.03.010.
16. Санкин Ю. Н., Ромашков С. В. Влияние квалификации водителя на критическую скорость движения автомобиля при различной загрузке пассажирами // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2010. – № 4(52). – С. 33–39. EDN: QJBKOT.
17. Санкин Ю. Н., Ромашков С. В. Динамическая модель упругой системы автомобиля с учетом характеристик пассажиров // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 29–36. EDN: VRNSWD.
18. Rossi, I. A., Vienneau, D., Ragetti, M. S., Flückiger, B., Rösli, M. Estimating the health benefits associated with a speed limit reduction to thirty kilometres per hour: A health impact assessment of noise and road traffic crashes for the Swiss city of Lausanne. *Environment International*, 2020, Vol. 145, 106126. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106126.
19. Milton, K., Kelly, M. P., Baker, G. [et al]. Use of natural experimental studies to evaluate 20mph speed limits in two major UK cities. *Journal of Transport & Health*, 2021, Vol. 22, 101141. DOI: 10.1016/j.jth.2021.101141.
20. Cleland, C. L., Baker, G., Turner, K. [et al]. A qualitative exploration of the mechanisms, pathways and public health outcomes of a city centre 20mph speed limit intervention: The case of Belfast, United Kingdom. *Health & Place*, 2021, Vol. 70, 102627. DOI: 10.1016/j.healthplace.2021.102627.
21. Вучик В. Транспорт в городах, удобных для жизни / Пер. с англ. дораб. изд. – М.: Альпина ПРО, 2023. – 676 с. ISBN 978-5-206-00045-0.
22. Попов А. В. Дорожно-транспортные происшествия. Проблемы высокой аварийности в Российской Федерации: Монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2020. – 273 с. ISBN 978-5-5948-3539-5.
23. Williams, A. F., Ferguson, S. A. Rationale for graduated licensing and the risks it should address. *Injury Prevention*, 2002, Vol. 8, Suppl. 2, pp. ii9–14; discussion ii14–6. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii9.

Информация об авторах:

Попов Александр Владимирович – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, alexandr238@yandex.ru.

Чернова Галина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, Galina_val@mail.ru.

Великанова Марина Владимировна – доцент кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета, Волжский, Россия, Marina_2010@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.10.2023, одобрена после рецензирования 15.02.2024, принята к публикации 18.02.2024.

От редакции. Учитывая важность представленных в исследовании результатов, актуальными представляется продолжение обсуждения и получение дополнительных экспериментальных данных.





Новые вызовы и перспективы развития занятости в секторе воздушного транспорта



Марина СИМОНОВА



Лариса САНКОВА



Фарида МИРЗАБАЛАЕВА

Марина Викторовна Симонова¹, Лариса Викторовна Санкова², Фарида Исламудиновна Мирзабалаева^{3,4}

¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Россия.

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия.

³ Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия.

⁴ ВНИИ труда Минтруда России, Москва, Россия.

¹ORCID 0000-0001-9662-9820; РИНЦ SPIN-код 7431-4421.

²ORCID 0000-0002-7859-8271; РИНЦ SPIN-код 1109-5178.

³ORCID 0000-0002-6265-5905; Scopus Author ID: 57191412471; РИНЦ SPIN-код 5011-4886.

✉ ¹ m.simonova@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются проблемы трансформации пространства труда и занятости в секторе воздушного транспорта в России на современном этапе во взаимосвязи с аспектами устойчивого развития данной отрасли. Использование такого подхода для анализа текущего состояния и прогноза перспектив развития основывается на тенденциях повышения значимости нематериальных активов компаний воздушного транспорта.

Воздушный транспорт, оказывая влияние на мобильность населения, объем срочных грузовых перевозок, обладает эффектом обратной связи как для экономики страны в целом, так и для сферы занятости, что необходимо учитывать при определении стратегий развития данного сектора. Цель исследования – выявить новые вызовы и обосновать методологические подходы к определению качественных трендов перспектив занятости в секторе воздушного транспорта.

Модель занятости выступает в этом случае не только маркером успешности экономической трансформации, но и необходимым фактором устойчивого развития и эффективности функционирования данного сектора. В ходе исследования выявлены неоднозначные тренды трансформации модели занятости на предприятиях воздушного транспорта под влиянием как долгосрочных, так и конъюнктур-

ных факторов развития воздушных перевозок, цифровизации, национальных особенностей функционирования, последствий «коронакризиса» и современных вызовов для российской экономики. Определено, что под влиянием этих процессов происходит сокращение занятости по виду экономической деятельности в сфере воздушного транспорта при одновременном качественном изменении структуры рабочих мест, увеличении потребности в цифровых навыках работников всех уровней квалификаций, дифференциации заработных плат. Показано, что цифровизация в авиатранспортной отрасли способна оказать амбивалентное влияние на спрос на труд в профессионально-квалификационном разрезе. В исследовании использовались статистические и аналитические методы, методы контент-анализа, анализа отечественных и зарубежных публикаций по исследуемой проблеме. В качестве информационной базы использованы данные Росстата, крупных кадровых агентств и интернет-порталов поиска работы; рынка труда работников воздушного транспорта. По результатам исследования определены перспективные векторы трансформации трудового пространства и новые стратегии управления занятостью с учетом изменения спроса на труд в ответ на новые вызовы развития сектора воздушных перевозок для обеспечения его устойчивого развития.

Ключевые слова: занятость, воздушный транспорт, вакансии, цифровые компетенции, заработная плата.

Для цитирования: Симонова М. В., Санкова Л. В., Мирзабалаева Ф. И. Новые вызовы и перспективы развития занятости в секторе воздушного транспорта // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 124–138. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-1-14>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Показатели отраслевой занятости являются одним из маркеров происходящих трансформационных процессов, в том числе в таком специфичном и значимом для экономики страны секторе, как воздушный транспорт. Динамика и структура занятости в авиационной отрасли детерминированы структурой и качеством рабочих мест, а также состоянием рынка труда в плане потенциального предложения рабочей силы для данной сферы.

Рост технологичности сферы воздушных перевозок и, в частности, возрастающая сложность технического оснащения авиалайнеров в качестве долгосрочного фактора диктует потребность в высококвалифицированном летном составе. При этом есть риск вступления данного фактора в противоречие со снижением навыков ручного пилотирования и способности экипажа действовать как команда в экстремальной ситуации, избыточной зависимостью безопасности полета от автоматического регулирования, снижением значимости человеческого фактора при формировании квалификации, что может служить причинами авиакатастроф. В силу этого существуют риски трансформации структуры занятости и понятия квалифицированного летного состава в сторону способности к операционному управлению техническими бортовыми системами в ущерб летным навыкам и способности принимать быстрое решение как синтезу технических и личностных компетенций.

Изменения в структуре и направлениях авиаперевозок, состояние инфраструктуры внутренних перевозок (особенно внутрирегиональной) обусловили конъюнктурный рост рисков сокращения персонала и утраты ключевых компетенций при переквалификации персонала. Однако достаточно быстрая переориентация воздушных перевозок на внутренние потребности с международных перевозок и их постепенное наращивание помогли не допустить резкого снижения занятости на воздушном транспорте. Потребность в квалифицированных кадрах при этом не только не снизилась, но и возросла на фоне нарастающего кадрового дефицита во всех отраслях народного хозяйства.

С учетом вышеизложенного необходимо стратегическое кадровое планирование сектора воздушных перевозок на основе измене-

ний структуры занятости и квалификационных характеристик, нахождение баланса требований к квалификации, мотивации в условиях рисков кадрового дефицита. Несмотря на достаточно высокую степень адаптации сектора воздушного транспорта к происходящим изменениям, риски недостатка квалифицированного персонала в такой высокотехнологичной сфере, как воздушный транспорт, могут потенциально служить тормозом для развития всей авиационной отрасли. Временные изменения в численном составе авиационного парка, сопровождающиеся краткосрочным снижением численности летного и обслуживающего персонала, переквалификацией специалистов и потерей уникальных компетенций, могут при отсутствии упреждающих действий по их недопущению послужить сдерживающим фактором при последующем росте авиапарка в долгосрочной перспективе.

Цель исследования состоит в определении проблем и перспектив трансформации занятости на воздушном транспорте в условиях меняющихся требований к компетентностной модели работников, технологий, бизнес-модели, логистики, инфраструктуры. Трансформация условий деятельности оказывает существенное влияние на состояние кадрового потенциала предприятий воздушного транспорта и обслуживающей инфраструктуры. Наличие и потребность в квалифицированном персонале во многом определяют устойчивость и перспективы развития отрасли, задают необходимость разработки стратегий занятости и кадрового обеспечения с учетом долгосрочной эффективности, что расширяет и дополняет цели исследования. В ходе реализации поставленной цели авторами были рассмотрены ключевые тренды занятости, ее перспективы, выполнен анализ статистических данных, оперативных данных рынка труда и внутренних исследований кадровых потребностей предприятий воздушного транспорта.

МЕТОДОЛОГИЯ

Методологической базой исследования являются общенаучные и статистические методы анализа, системный подход. Информационной базой исследования явились Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года, Транспортная стратегия



Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года; Распоряжение Правительства РФ от 25 июня 2022 № 1693-р «Об утверждении комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года»; данные Росстата по выборочным обследованиям рабочей силы; сведения Росстата о заработной плате работников воздушного транспорта; результаты опроса работодателей, проведенного в 2018 году Национальным агентством развития квалификаций (НАРК) в рамках апробации единого инструментария мониторинга рынка труда; материалы периодических изданий и интернет-источники.

В условиях динамичных изменений отрасли воздушного транспорта, рынка труда, разработки дополнительного методологического инструментария его обследования акцент в исследовании был сделан на долгосрочных тенденциях в отношении общей численности занятых по виду экономической деятельности воздушного транспорта и выработке комплексных методологических подходов, а не анализе фактически складывающейся ситуации на конкретном временном отрезке. Предметом дополнительных исследований могут стать вопросы численности отдельных профессиональных категорий, в первую очередь летного экипажа, пилотов.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследовании вопросов трансформации занятости сектора воздушных перевозок в современной научной литературе можно выделить несколько векторов.

Цифровизация и новые технологии

Определяющим трендом в исследованиях в последние годы стали проблемы, связанные с цифровизацией, охватившей практически все структурные элементы трудовых процессов [1]. В работах ученых подчеркиваются значимость трендов цифровизации; необходимость создания цифровых двойников самолетов; использование BIM-технологий; высокая емкость технологических и логистических элементов современного воздушного транспорта для технологий искусственного интеллекта, например, для ML (machine learning), Big Data, BI-решений, уберизации отрасли; применение VR/AR при проектировании, производстве и поддержке эксплуатации самолета; промышленный интернет ве-

щей. Также значимыми трендами в условиях цифровизации и актуализации киберугроз становится необходимость постоянного обучения и развития соответствующих компетенций у работников отрасли в целом, повышение эффективности ИТ-служб.

Указанные изменения объективно требуют пересмотра отраслевых кадровых стратегий для динамического соответствия технологических базовых знаний и синтеза оперативного анализа полетной информации, формирующих особые компетенции принятия решений в нестандартной обстановке, для опережающего развития трудового потенциала. Изменение требований к навыкам работников авиакомпаний, новые форматы подготовки кадров для воздушного транспорта логически следуют из цифровых трендов развития отрасли [2]. Необходимость обучения работников воздушного транспорта управленческим, цифровым и трансграничным навыкам отмечают различные ученые. Например в исследовании [3], проведенном на групповых данных 12 аэродромов Польши за девять лет, выполнен анализ влияния человеческого управленческого капитала топ-менеджеров, то есть накопленного опыта в совокупности с имеющимися знаниями, на техническую эффективность аэропортов, что будет способствовать оптимизации управления авиацией, поскольку они являются неосознанными экзогенными факторами, которые трудно оценить.

Можно выделить исследования отечественных и зарубежных ученых по вопросам спроса и моделирования пассажирских авиаперевозок [4–6] с использованием ИИ, нейронных сетей и др. методов.

Постпандемийное восстановление сектора воздушных перевозок

Целый спектр исследований связан с влиянием COVID-19 на состояние воздушного транспорта. Вызванное пандемией прекращение трансграничных поездок весной 2020 года вынудило все авиакомпании принять масштабные меры по сокращению штатов [7]. По данным Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), сектор воздушного транспорта обеспечивает 25 млн рабочих мест во всем мире. С начала марта 2020 года все эти рабочие места явно оказались под угрозой, наряду с ежедневными объявлениями сотрудникам авиакомпаний и аэропортов об увольнениях [8].



Рис. 1. Логическая схема трансформации занятости [разработано авторами].

Таким образом, в долгосрочном плане, независимо от количества работников и отношений между работодателем и работником, кадровые стратегии должны быть сформированы с учетом различных вариантов развития событий и предусматривать направления действий в экстренных ситуациях, например в условиях пандемии, чтобы установить разумные стандарты как для компании, так и для работников [8].

Нематериальные активы и трансформация наборов навыков

Анализ исследований [9–11] позволяет констатировать, что одной из ключевых особенностей новых бизнес-моделей в сфере воздушных перевозок становится все большая зависимость от нематериальных активов, в том числе цифровых, но при этом возрастает значимость качества таких активов.

Современные авиакомпании стоят перед проблемой трансформации традиционной системы рабочих мест и наборов навыков. Возникает запрос на внутриорганизационные изменения бизнеса (перераспределение занятых в цифровые сегменты бизнеса, управление воздействием автоматизации на занятость) [12], что определяет актуальность исследования. Вместе с тем следует учитывать необходимость следования строгому регламенту проведения авиационных работ на всех стадиях обслуживания пассажиров, перевозки грузов, почты и т. д.

Взаимозависимость векторов развития воздушных перевозок и занятости

Таким образом, перспективы развития сектора воздушных перевозок реализуются

в координатах «трансформация бизнес-моделей – трансформация навыков – трансформация занятости» (рис. 1) под влиянием целого комплекса внешних и внутренних факторов.

Указанные проблемы пока не получили должного научного исследования, что в значительной степени тормозит выбор новых моделей развития сектора, адаптацию к изменившимся условиям и определяет актуальность их исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика показателей воздушного транспорта и основные тренды

Значимость воздушного транспорта в обеспечении экономического роста страны сложно переоценить. Согласно расчетам Международной ассоциации воздушного транспорта, каждые 10 % роста воздушного движения прибавляют 0,5 % к ВВП соответствующей страны.

В 2019 году российскими авиакомпаниями перевезено 128,1 млн пассажиров (из них на внутренних воздушных линиях – 57 %). В период коронокриза в 2020 году произошло сокращение числа авиaperевозок пассажиров российскими компаниями на 42 %, в основном это коснулось международных маршрутов, однако в 2021 году происходит достаточно быстрое восстановление основных показателей работы воздушного транспорта.

В целом динамика пассажиропотока внутренних воздушных перевозок в России за последние семь лет показывает увеличение почти в 1,5 раза, даже с учетом пандемийного спада в 2020 году (рис. 2).





Рис. 2. Динамика пассажирских перевозок воздушным транспортом в России [составлено авторами на основе данных Росстата. [Электронный ресурс]: <https://fedstat.ru/indicator/59496>. Доступ 24.02.2024].

Объем регулярных международных перевозок после резкого спада в 2020 году имеет тенденцию к росту и за девять месяцев 2023 года опережает показатели 2022 года почти на 30 %, в то время как внутренние перевозки растут более медленными темпами и превысили показатели за тот же период 2022 года всего на 8,3 %. Такой рост пассажиропотока оказывает непосредственное влияние на занятость в секторе воздушного транспорта.

В части парка воздушных судов «в апреле 2022 года российские авиакомпании эксплуатировали 1287 воздушных судов для коммерческих перевозок, большинство из которых были импортного производства»¹. Средний возраст пассажирских самолетов авиакомпаний составил 14,6 года. Правительство утвердило комплексную программу по расширению производства самолетов, двигателей и приборов, предполагающую к 2040 году производство 1869 воздушных судов для внутреннего и экспортного рынков².

В рамках Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года отмечается, что объем

пассажирских авиаперевозок через аэропорты гражданской авиации (российскими и иностранными авиакомпаниями) будет расти со среднегодовым темпом в 2,9 % и увеличится на 59 % в 2035 году относительно 2019 года: с 147,5 до 234 млн пассажиров в 2035 году.

При этом помимо прогнозных показателей сектора воздушных перевозок следует отметить и существующие проблемы его развития, требующие новых подходов к решению. Актуальной проблемой для развития авиационной мобильности остается высокая себестоимость авиаперевозок в сравнении с уровнем доходов населения, высокая неравномерность внутренних перевозок, территориальные диспропорции в уровне развития аэродромной инфраструктуры и др. Для региональных и местных аэропортов с низкой интенсивностью движения сохраняются высокие требования транспортной безопасности, что снижает рентабельность региональных перевозок.

Но при этом важно учитывать потенциальное влияние инвестиций в пассажирский воздушный транспорт на региональную экономику:

- наличие аэропорта стимулирует развитие региональной экономики, что дает дополнительные доходы, способствует новым и прямым инвестициям в создание рабочих мест и новую инфраструктуру;
- косвенные и вынужденные расходы, связанные с постоянными капиталовложениями в больших масштабах, создают преимущества для развития местной экономики и занятости;
- сети авиалиний, создаваемые авиакомпаниями, могут изменить экономические связи региона с другими регионами и странами [13].

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.06.2022 № 1693-р «Об утверждении комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года». [Электронный ресурс]: <https://npalib.ru/2022/06/25/rasporyazhenie-1693-r-id297739/>. Доступ 24.03.2024.

² Распоряжение Правительства РФ от 13.01.2024 г. N 7-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 5 ноября 2013 г. N 2044-р и утверждении паспорта инвестиционного проекта «Комплексная программа по расширению производства воздушных судов, авиационных двигателей, приборов и агрегатов, в том числе в целях создания системы послепродажного обслуживания гражданских воздушных судов». [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408264869/>. Доступ 24.03.2024.

В целом, на основе анализа трендов развития сектора воздушных перевозок и обзора исследований, можно выделить целый ряд ключевых факторов, влияющих на структуру отраслевой занятости сектора воздушного транспорта:

- сложная структура взаимосвязанных элементов авиационной отрасли, формирующаяся по кластерному типу, которая требует сквозного долгосрочного подхода к планированию кадрового обеспечения;

- значимый прямой и косвенный вклад в отечественную экономику;

- новый формат функционирования сектора воздушного транспорта под воздействием комплекса внешних, технологических, демографических, поведенческих, культурных и социально-экономических условий, предполагающих качественную трансформацию спроса на трудовые ресурсы;

- растущая конкуренция, требующая пересмотра основных бизнес-моделей функционирования перевозчиков и соответственно приводящих к новым потокам в структуре занятости на воздушном транспорте;

- технологические инновации, основанные на достижениях технологического суверенитета, импортозамещении, цифровизации и автономии, изменяющие требования к квалификации персонала;

- расширение спектра услуг воздушного транспорта; становление новых моделей оказания услуг, необходимость учета новых моделей поведения потребителя, в том числе вызванные развитием цифровых платформ и онлайн-агрегаторов;

- накопившиеся проблемы, вызванные высокой неравномерностью перевозок, экзогенными шоками и национальными регуляторными правилами;

- новые задачи, поставленные перед отраслью в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

Часть указанных факторов определяет долгосрочные тренды в развитии занятости, часть – краткосрочные эффекты и сдвиги. Взаимное влияние этих и многих других факторов, влияющих на развитие воздушного транспорта, требуют проведения глубоких исследований для минимизации рисков и использования возможностей роста, в том числе в области занятости и кадрового обеспечения сектора воздушных перевозок.

Происходящая трансформация сектора воздушного транспорта находит непосредственное отражение в показателях численности и структуры занятых, оплаты труда работников воздушного транспорта.

Тенденции в сфере занятости

Для выявления характера трансформационных сдвигов в структуре занятости на воздушном транспорте проведен анализ состояния трудовых ресурсов в отрасли, сложившегося в последние годы.

Численность занятых в секторе воздушного и космического транспорта за период с 2019 по 2021 годы несколько сократилась (с 84,9 тыс. чел. до 84,1 тыс. человек) и составила 1,8–1,9 % от численности занятых в сфере транспортировки и хранения³. Численность летного персонала в гражданской авиации в 2021 году составляла порядка 43 тыс. человек [2, С. 18–19].

За девять месяцев 2023 года среднемесячная численность работников воздушного транспорта без учета малых предприятий составляла 73 549,5 человек, что на 4,5 % меньше аналогичного периода предыдущего года. При этом доля работников воздушного транспорта составила 3,8 % от общей численности работников всего транспортного комплекса.

Наблюдались разнонаправленные тенденции в спросе на труд в секторе пассажирских и грузовых перевозок. В 2017–2021 годах происходило сокращение численности требуемых работников списочного состава на вакантные рабочие места на конец отчетного квартала (1–2 кв.) для реализации деятельности воздушного и космического транспорта на 16,3 %, из которых абсолютное большинство было занято воздушными перевозками пассажирским транспортом, подчиняющимся расписанию (6767 человек, что также на 17,1 % меньше показателей 2017 года). Рост численности требуемых работников наблюдается в деятельности грузового воздушного транспорта и космического транспорта – в 1,6 раза за данный период – с 487 до 777 человек (из которых в деятельности грузового воздушного транспорта заняты 648 чел.); во вспомогательной деятельности, свя-

³ Министерство транспорта РФ: Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. 2022 год. [Электронный ресурс]: https://mintrans.gov.ru/storage/app/media/files/3_bulleten_transport_russia.pdf. Доступ 22.09.2023.



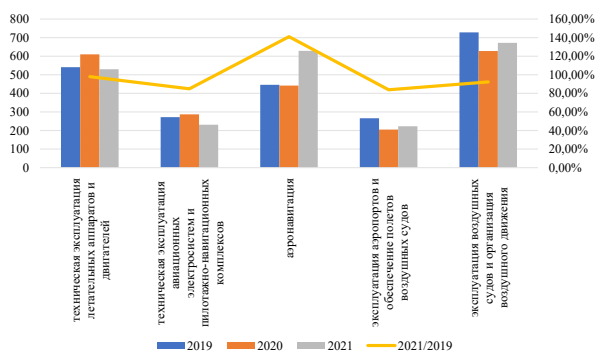


Рис. 3. Выпуск бакалавров, специалистов, магистров государственными и муниципальными образовательными организациями высшего образования и научными организациями по специальностям и направлениям подготовки эксплуатации воздушного транспорта [7, С. 17].

занной с воздушным транспортом, – в 1,2 раза (с 10891 до 12962 – большая часть занята в аэропортовой деятельности (9144 чел.)).

Таким образом, ситуация на рынке труда транспорта динамично изменялась под влиянием мер, предпринятых для нейтрализации последствий пандемии КОВИД-19, затем – для минимизации последствий односторонних санкций. В частности, численность пилотов в Российской Федерации на 01.01.2020 года составляла 14800 человек, на 01.01.2021 года составила 14600 человек, т.е. абсолютное сокращение численности пилотов составило 200 человек, относительное на 1,4 %. При этом за обозначенный период в мировой транспортной системе воздушного транспорта произошло значительно более масштабное сокращение, затронувшее более чем 50 000 пилотов при численности на начало 2020 года примерно 400 тысяч человек⁴.

Если рассматривать динамику численности отдельных компаний в секторе воздушного транспорта, то заметны колебания численности в пределах до 10 %, которые находятся в границах естественной текучести персонала, что в целом ниже, чем в организациях транспортной отрасли в целом.⁵

Воспроизводство трудовых ресурсов гражданской авиации

Основным источником воспроизводства трудовых ресурсов предприятий гражданской

авиации являются образовательные организации. Ежегодный выпуск авиационного персонала из образовательных учреждений для гражданской авиации составляет порядка 3,5 тысяч человек, из них по программам высшего образования более двух третей общего выпуска, в том числе около 800 человек пилотов (рис. 3).

При этом увеличение выпуска специалистов с высшим образованием с 2019 по 2021 год произошло только по направлению «Аэронавигация» (на 41 %), по остальным направлениям наблюдается незначительное сокращение выпуска.

Исходя из складывающейся модели занятости в аэронавигации, отметим, что воздушный транспорт представляет собой достаточно динамично развивающийся сектор современной экономики, поэтому от работников требуется гибкость, готовность к изменениям, к постоянному повышению своего профессионального уровня в рамках трудового жизненного цикла. Проводимые исследования целевых установок и мотиваторов студентов – будущих пилотов [14] позволили выявить высокую значимость в структуре мотиваторов дохода, условий и структуры трудовой деятельности, но невысокие показатели готовности к переменам.

Актуальной задачей является прогнозирование кадровой потребности в связи с изменениями на рынке труда, с поставленными задачами развития воздушного транспорта.

Ряд принятых в последние годы нормативно-правовых документов свидетельствует о предпринятых существенных мерах по обеспечению кадровой безопасности и развитию кадрового потенциала воздушного транспорта. В Комплексной программе раз-

⁴ Итоги деятельности Росавиации в 2020 году. [Электронный ресурс]: <https://www.aviastat.ru/reports/84-itogi-deyatelnosti-rosaviacii-v-2020-godu>. Доступ 20.10.2023.

⁵ Транспорт в России. 2022: Стат.сб./Росстат. – М., 2022 – 101 с. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf. Доступ 24.03.2024.

Таблица 1

Данные о совокупном количестве вакансий и резюме по фильтрам:
1. Воздушный транспорт, 2. Авиационные перевозки, 3. Гражданская авиация

Наименование портала	Количество вакансий за последний месяц			Количество резюме за последний месяц (Россия/мир)			Соотношение количества резюме к количеству вакансий (Россия/мир)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
hh.ru	899	235	535	3639/ 30 610	2582/ 24 202	1017/ 10 102	4,05/ 34,05	11,0/ 103,0	1,9/ 18,9
trudvsem.ru	464	207	565	4/-	30/-	217/-	0,01/ -	0,14/-	0,38/-
zarplata.ru	204	23	40	7/ 121	7/ 133	14/ 87	0,03/ 0,59	0,3/ 5,7	0,35/ 2,18
gorodrabot.ru	387 161	132 818	28 971	37/-	43/-	25/-	0,00/ -	0,00/ -	0,00/ -
superjob.ru	383	21	51	1063/ 1522	451/ 633	546/ 815	2,77/ 3,97	21,47/ 30,14	10,7/ 15,98

Источник: Составлено по данным интернет-порталов, представленных в таблице.

вития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года среди основных задач Программы обозначена задача стабилизации численности профессионального кадрового авиационного персонала предприятий отрасли на достаточном уровне [2, С. 3]. В Программе отмечается, что прогнозирование численности занятых в отрасли затруднена высокой степенью неопределенности, связанной с геополитическими факторами; риском оттока квалифицированного персонала в связи с переходом в иностранные авиационные компании; дефицитом кадров для производства, эксплуатации и обслуживания новых и вновь производимых типов воздушных судов, что может вызвать нехватку пилотов для обеспечения выполнения объема воздушных перевозок в будущем [2, С. 18–30].

Задачей образовательных учреждений является подготовка соответствующих кадров. Кроме того, необходимо обеспечение целевой подготовки специалистов для авиатранспортной отрасли в российских вузах. Ряд российских авиакомпаний имеют такой опыт.

Решению актуальных проблем должно помочь и развитие кадрового резерва воздушного транспорта. Приказом Федерального агентства воздушного транспорта от 21 июня 2021 г. N 426-П «Об утверждении Положения о кадровом резерве Федерального агентства воздушного транспорта»⁶ определены цели,

⁶ Приказ Федерального агентства воздушного транспорта от 21 июня 2021 г. N 426-П «Об утверждении Положения о кадровом резерве Федерального агентства воздушного транспорта». [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202107160028?ysclid=m4md6zqdw914240588>. Доступ 10.02.2024.

принципы, порядок формирования и работы с кадровым резервом воздушного транспорта. Резерв кадров позволит подготовить стратегически важный ресурс для управления воздушным транспортом.

Структура и качество вакансий и резюме на порталах поиска работы

Представляет интерес анализ структуры и динамики спроса и предложения на рынке труда воздушного транспорта (по данным интернет-порталов поиска работы). Ситуация на рынке труда складывается достаточно непростая: после падения показателей предложения с июня 2021 года наблюдается незначительный рост, который существенно ниже показателей 2020 и 2019 годов. При этом динамика предложения зависит от профессиональной области. Область транспорта и логистики не подверглась серьезным изменениям, в отличие от многих других сфер экономики. В таблице 1 представлены данные о количестве вакансий и резюме по фильтру «Воздушный транспорт» с основных порталов по трудоустройству. Наибольшее количество вакансий по исследуемому сектору размещается на сайтах Суперджоб, Город работ, ХедХантер.

Ситуация на рынке труда воздушного транспорта, если ориентироваться на данные открытых баз поиска работы, является неоднозначной и различается в зависимости от специализации электронного ресурса по поиску работы, популярности ресурса у работодателей и соискателей, специфики настройки фильтров и заложенных в программы алгоритмов поиска. В некоторых информацион-



ных системах поиска работы представлена возможность подачи резюме из других стран, что существенно расширяет возможности подбора специалистов. Соискатели работы на воздушном транспорте представлены практически со всего мира и превосходят по количеству резюме российский сегмент в десятки раз по некоторым направлениям, что показывает востребованность и конкурентоспособность российских рабочих мест в сегменте воздушного транспорта.

Ситуация с данными по запросам иностранной рабочей силы для работы в России на рабочих местах в воздушном транспорте требует отдельного анализа по структуре и качеству рабочей силы, что необходимо для проектирования кадрового обеспечения на стратегическую перспективу. Учитывая мировой рынок труда, ситуация в секторе воздушного транспорта является трудоизбыточной: количество предлагаемых вакансий существенно меньше количества резюме, среднее соотношение количества резюме к среднему количеству вакансий составляет 50 (за весь период размещения вакансий и резюме) и 43,35 (при проведении анализа за месяц).

По данным портала hh.ru воздушный транспорт, включаемый в вид деятельности «Транспорт, логистика», попадает в десять видов деятельности с наиболее высоким спросом на специалистов и в десять видов деятельности, в которых специалисты наиболее часто размещают резюме. Одновременно, транспорт неизменно остается одним из лидеров по количеству резюме от молодых соискателей (около 34 % в 2021 году)⁷.

Проведенный анализ показал, что наибольшая потребность у работодателей существует в отношении авиационных техников, специалистов по АТИ (19 % от всех вакансий) и инженерных технических работников (18 % от всех вакансий). Количество резюме по обозначенным профессиональным группам превышает заявленный спрос, индекс напряженности составляет 53,18 и 69,91 соответственно. Высокий индекс напряженности характерен для следующих направлений: бортпроводники, начало карьеры и представители компаний. Однако, соотношение спроса и предложения на рынке труда воздушного транспорта по открытым базам по-

иска работы нельзя назвать полностью объективным, так как релевантность всех попавших в данную выборку резюме невозможно установить (в базах данных есть дублирование по резюме и вакансиям: один соискатель может создать резюме на всех названных порталах, количество созданных на каждом портале резюме не ограничено; при нахождении работы соискатели не всегда удаляют резюме из баз данных).

Из представленных активных резюме в секторе воздушного транспорта указан желаемый размер заработной платы в 1280 резюме, из которых 16,56 % претендует на заработную плату от 15000 до 45000 руб., а 17,7 % – на заработную плату свыше 170000 руб. В сравнении, средняя заработная плата по всему перечню вакансий, представленному на портале <https://www.adzuna.ru> составляла в 2021 году 43815 руб., в секторе воздушного транспорта – 38633 руб.⁸ В целом, по данным порталов невозможно точно определить масштаб диспропорций спроса и предложения в части уровня заработной платы, поскольку зачастую ее действительный размер определяется только по итогам собеседований с потенциальными работниками. При этом, по данным вышеуказанных порталов, уровни предлагаемых и запрашиваемых заработных плат выше среднего уровня заработных плат по всем другим видам деятельности.

Анализ трудоустройства выпускников показал, что большинство выпускников успешно находят работу в течение первого полугодия после выпуска, что подтверждает востребованность высококвалифицированных специалистов в данной области.

Создание новых рабочих мест

В таблице 2 приведены данные по созданным рабочим местам на предприятиях, относящихся к воздушному транспорту. В целом, по виду деятельности «Деятельность воздушного и космического транспорта» число созданных рабочих мест существенно уменьшается с 7826 человек в 2017 году до 4454 человек в 2020 году (почти в два раза с 5,03 % в 2017 году до 2,63 % в 2020 году). Аналогичное снижение наблюдается и по деятельности пассажирского воздушного транспорта (с 4,8 % в 2017 году до 2,06 % в 2020 году).

⁷ Молодые специалисты: актуальные тренды трудоустройства. [Электронный ресурс]: <https://hh.ru/article/29416>. Доступ 20.10.2021.

⁸ Портал вакансий adzuna.ru. Вакансии в Москве и по всей России. adzuna.ru. [Электронный ресурс]: adzuna.ru. Доступ 01.10.2021.

Таблица 2

Общее число созданных рабочих мест по группам организаций, на которых средняя численность работников изменилась, и по вновь созданным организациям за период 2017–2022 гг., чел.

Годы	2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Доля, %		%		%		%		%		%		%
Деятельность воздушного и космического транспорта	7 826	5,03	12 022,6	6,48	6 565	4,83	4 454	2,63	3 949	2,84	6 098	3,60
Деятельность пассажирского воздушного транспорта	7 461	4,80	11 376,64	6,13	5 489	4,04	3 490	2,06	3 477	88,05	5 479	3,23
Деятельность грузового воздушного транспорта и космического транспорта	365	0,23	645,96	0,35	1 076	0,79	964	0,57	472	13,57	618	0,36

Источник: составлено по данным Росстата. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/58698>. Доступ 02.10.2023.

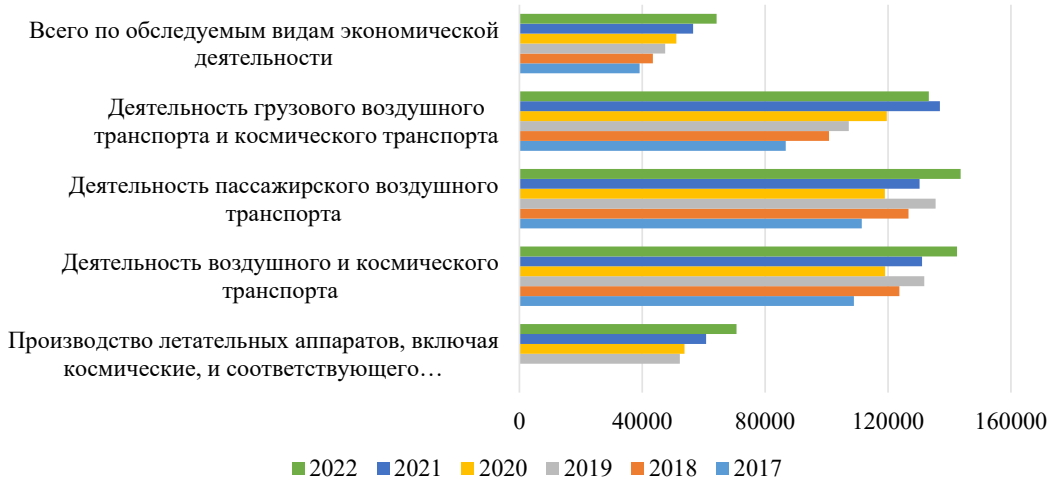


Рис. 4. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата по некоторым видам деятельности в секторе воздушного транспорта и производстве летательных аппаратов, руб. (2017–2022 гг.) [составлено авторами на основе данных ЕМИСС. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/57824>. Доступ 10.02.2024].

Оплата труда

Следующая проблема, которую необходимо учитывать при исследовании занятости, это уровень заработной платы, который является одним из определяющих факторов привлечения и удержания работников.

Можно отметить достаточно высокий уровень заработных плат работников воздушного транспорта по сравнению со средней зарплатой как в целом по экономике, так и на транспорте, данные по которому приведены на рис. 4 (среднемесячная номинальная начисленная заработная плата по некоторым видам деятельности в секторе воздушного транспорта и производстве летательных аппаратов в 2017–2022 гг.) и в табл. 3 (среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работающих

в рамках вида деятельности воздушного (пассажирского и грузового) и космического транспорта и в складском хозяйстве и вспомогательной транспортной деятельности, январь 2017 года – период январь – март 2023 года). Так, в 2023 году среднемесячная заработная плата в системе воздушного транспорта составляла около 157 тыс. руб.

На рис. 5. представлена динамика и дифференциация заработных плат по основным должностям авиационного персонала. Как видно из рис. 5, уровень заработной платы командира воздушного судна отличается от уровня заработной платы бортпроводников в среднем в четыре раза, инженеров по авиационному и радиоэлектронному оборудованию – в три раза. При этом более высокими



Таблица 3

Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работающих в экономике с января 2017 г. по март 2023 г., руб.

Виды экономической деятельности	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	январь-декабрь	январь-декабрь	январь-декабрь	январь-декабрь	январь-декабрь	Январь-март	Январь-март
Деятельность воздушного и космического транспорта	108 866	123 691,15	131 776,38	119 044	118 669,7	138 097,3	149 729,8
Деятельность пассажирского воздушного транспорта	111 434	126 670,7	135 481,32	118 960,9	117 625,1	138 097,3	149 729,8
Деятельность грузового воздушного транспорта и космического транспорта	86 714	100 786,2	107 204,51	119 597,2	126 212,7	135 769,0	152 398,9
Складское хозяйство и вспомогательная транспортная деятельность	45 983	46 255,58	49 158,53	51 608,9	55 525,4	88 368,5	92 074,5

Источник: составлено авторами на основе данных ЕМИСС. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/57824>. Доступ 10.02.2024).

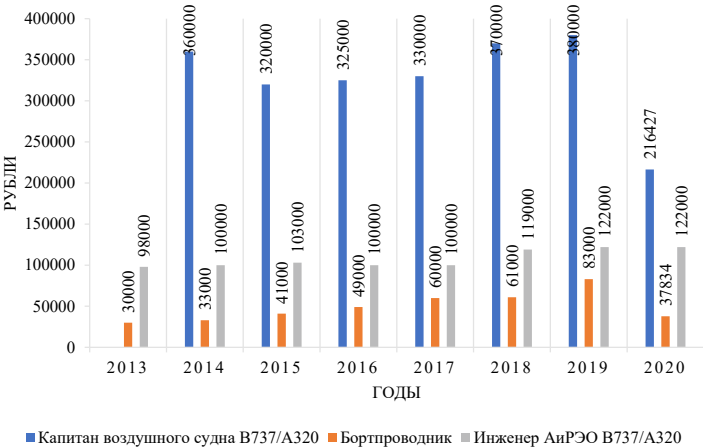


Рис. 5. Динамика уровня заработной платы авиационного персонала за период с 2013 по 2020 гг. [Анализ рынка труда авиатранспортной отрасли Консалтинговой компании «Авиаперсонал» [Электронный ресурс]: <https://aviapersonal.ru/uploads/s/ll/n/Infblxkq8jfa/file/LhMgyXEv.pdf?preview=1>. Доступ 27.09.2023].

темпами росла заработная плата бортпроводников (с 30000 в 2013 году до 83000 в 2019 году), инженеров АиРЭО (на 24,5 % за период 2014–2019 гг.), тогда как оплата труда командиров воздушного судна выросла на 12 %. Падение уровня заработных плат в 2020 году связано с резким сокращением рынка труда в связи с пандемией. В период январь–март 2023 года наблюдался рост средней заработной платы в среднем по всему воздушному транспорту на 8,4 % по отношению к аналогичному периоду 2022 года, при этом на пассажирском транспорте наблюдался рост на 12,2 %, а в грузовом сегменте воздушного транспорта – снижение на 23,9 %.

Прогнозные перспективы

Несмотря на активное восстановление деятельности сектора воздушного транс-

порта в 2023 году, существенным риском для перспективного планирования является дефицит кадров и структурный дисбаланс по профессиональным группам специальностей. Количественно рост спроса на труд может быть обусловлен планируемым ростом объемов перевозок. Так, по прогнозам, объем перевозок пассажиров российскими авиакомпаниями будет расти со среднегодовым темпом в 3,1 % и увеличится на 63 % в 2035 году относительно 2019 года с 128,1 до 209 млн пассажиров. Для сравнения, исторический темп роста перевозок российскими авиакомпаниями составил 8,6 % в год в период с 2015 по 2019 годы, в 2023 году рост по сравнению с данными 2022 года составил 10 % (и это без учета полного импортозамещения в авиастроении и серийного выпуска отечественных авиалайнеров). Это

потребуется увеличения занятости и ее структурной трансформации.

Структурная трансформация занятости

Пандемия коронавируса высветила ряд вопросов по структуре занятости на предприятиях воздушного транспорта.

Как показывают зарубежные исследования, в условиях пандемии COVID-19 авиаперевозчики оказались в разных условиях [15]. Исходя из этого, можно утверждать, что больше всего занятость пострадала у тех авиаперевозчиков, которые были ориентированы на международные рынки, премиальный трафик и развлекательные поездки, что требует больше времени для восстановления занятости, то есть на тех направлениях, которые, по мнению ряда исследователей, обеспечивают основной рост экономических выгод от воздушного транспорта (в том числе от роста туризма, прямых иностранных инвестиций и торговли), что в итоге приводит к повышению производительности, росту ВВП и увеличению числа рабочих мест с более высокой оплатой труда [16].

Автор статьи [17], оценивая последствия COVID-19, приходит к выводу, что восстановление после шоков неопределенности займет от четырех до шести лет.

Одно из заключений исследователей состоит в том, что специалисты, ответственные за разработку политики в аэропортовых сообществах, должны оценивать программы обучения и образования, чтобы определить, удовлетворяют ли эти программы потребностям бизнеса. Основное влияние на структуру занятости окажут долгосрочные технологические тренды. Новые технологии в авиатранспортной отрасли привели к снижению зависимости от одних профессий, но создали спрос на другие. Более крупные и технологически сложные самолеты, способные более эффективно перевозить больше пассажиров и больше грузов, заменяют более мелкие и менее эффективные воздушные суда. Это изменение снижает спрос на основные рабочие места, связанные с авиаперевозками, но увеличивает спрос на инженеров и специалистов по информационным технологиям.

Таким образом, исследование процессов трансформации модели функционирования сектора воздушных перевозок через призму паттернов занятости будет неполным без учета модификации профессионального пространства. Согласно Атласу новых профессий 3.0,

в авиации в будущем будут востребованы специалисты следующих профессий: проектировщик инфраструктуры для воздухоплавания; технолог рециклинга летательных аппаратов; проектировщик интерфейсов беспилотных летательных аппаратов; проектировщик дирижаблей; аналитик эксплуатационных данных; инженер производства малой авиации; ремонтник-композитчик; специалист по цифровому моделированию в авиационной инженерии; инженер оптимизации нагрузки; разработчик интеллектуальных диспетчерских систем; регулировщик дронов [18]. Крупные авиакомпании по всему миру заявляют потребность на квалифицированный летный и наземный персонал в будущем: пилотов, бортпроводников, авиадиспетчеров [19].

Важным направлением развития авиатранспортной отрасли является развитие беспилотной авиации. В Распоряжении Правительства РФ от 21 июня 2023 года № 1630-р обеспеченность квалифицированными кадрами отмечена как ключевой драйвер развития беспилотной авиации. Однако темпы внедрения технологий беспилотной авиации опережают возможности системы образования по подготовке кадров в этой области и образуются зоны «разрыва компетенций», устранение которых является критически важным для развития данного сегмента. Развитие беспилотной авиации создает рабочие места и диктует необходимость подготовки и в смежных областях, по таким профессиям и специальностям, как «проектировщик интерфейсов беспилотной авиации», «инженер производства малой авиации», «аналитик эксплуатационных данных», «технолог рециклинга летательных аппаратов», «проектировщик инфраструктуры для воздухоплавания», «программист систем автоматизирования управления», «техник по эксплуатации беспилотных авиационных систем», «проектировщик наземной инфраструктуры для эксплуатации беспилотных авиационных систем», «специалист по разработке беспилотных воздушных судов космического назначения», «разработчик систем автоматической навигации беспилотных воздушных судов» и др.⁹.

⁹ Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по ее реализации. [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407003744/>. Доступ 27.02.2024.



По некоторым прогнозам, цифровизация в дальнейшем может привести к снижению численности сотрудников в некоторых сегментах деятельности вследствие роботизации рутинного труда, его замены механизированным трудом, построенным на алгоритмах. Но при этом, напротив, следует ожидать роста численности персонала, связанного с информационными технологиями, личностным взаимодействием с клиентами. Данная тенденция, например, связана с активным внедрением чат-ботов с искусственным интеллектом для поддержки клиентов. Показательно, что если в конце 2017 года эту технологию, по некоторым оценкам, использовали только 14 % авиакомпаний и 9 % аэропортов, то в 2020 году планировали ее использование соответственно 68 % и 42 %¹⁰,¹¹. В настоящее время использование этой технологии в сфере воздушных перевозок повсеместно и распространяется практически на все виды деятельности – от поддержки клиентов до выдачи багажа, принося существенный экономический эффект. Так, число пассажиров, проходящих регистрацию на рейс в аэропорту, снизилось с 49 % в 2017 году до 27 % в 2021 году, автоматизировано 68 % обращений пассажиров, на 49 % снизилось число звонков клиентов в колл-центры¹².

Особенности изменения модели занятости как проекция основных трансформаций сектора воздушного транспорта не позволяют увидеть латентные процессы в секторе. Процессы трансформации занятости в рамках воздушного транспортного кластера затрагивают и вопросы новой модели инфраструктурной занятости, в частности, т.н. уберизации [20]. Так, зарубежные исследователи обращаются к развитию инфраструктуры по обслуживанию аэропортов. Автор [21] изучает в своей статье взаимосвязь между платформенной работой в Uber и географией международного аэропорта. Отме-

чается, что на стыке платформы Uber и инфраструктуры аэропорта возникают различные возможности, которые могли бы иметь стратегическое значение для новых инициатив [21].

В статье [22] представлена общая тенденция в области оперативного управления аэропортами, рассматриваются изменения в управлении образованием, профессиональной подготовкой и маркетингом. Поскольку технический прогресс в авиации обеспечивает повышение эффективности, авторы считают необходимым формирование отдела цифровизации, который занимался бы вопросами оптимизации операций в аэропорту и адаптации их к технологическим тенденциям и тенденциям воздушного движения [22].

Воздушный транспорт оказывает значительное влияние на объем производства, доходы и занятость. Значимость эффекта обратной связи необходимо учитывать при разработке и реализации стратегий развития данного сектора. В статье [23] авторы исследуют взаимосвязь развития воздушного транспорта как источника экономического роста и сокращения бедности в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Увеличение конечного спроса на авиаперевозки вызовет рост трудовых доходов, причем наибольший рост будет у высококвалифицированной рабочей силы. Делается вывод о том, что правительство могло бы уменьшить распыление доходов от воздушного транспорта путем проведения реформ, направленных на повышение уровня квалификации. Это исследование показывает, что для того, чтобы сектор играл значительную роль в социально-экономическом развитии, необходимо усилить его интеграцию в местную экономику [23]. Данный подход позволяет также исследовать межсекторальные потоки занятости на местном уровне.

В целом можно сделать вывод о необходимости разработки программ устойчивого развития занятости, ориентированных на конкретные стратегии, адекватные новой модели функционирования кластера воздушных перевозок в интересах всех регионов России.

Вопросы структурной трансформации носят долгосрочный характер и обусловлены как изменением ландшафта бизнес-

¹⁰ Airlines and the growth of chatbots: potential and brand awareness. [Электронный ресурс]: <https://centreforaviation.com/analysis/reports/airlines-and-the-growth-of-chatbots-potential-and-brand-awareness-424982>. Доступ 10.02.2024.

¹¹ Напр.: Lufthansa рассказала о своей стратегии развития. [Электронный ресурс]: https://www.frequentflyers.ru/2017/05/31/lh_strategy/. Доступ 10.02.2024.

¹² Caballé, M. Airline Chatbot Benefits, Use Cases, and Examples for 2024. [Электронный ресурс]: <https://www.hubtype.com/blog/airline-chatbot-use-cases-examples>. Доступ 10.02.2024.

стратегий, так и технологическими изменениями. Следует подчеркнуть, что происходящие технологические и организационные изменения в секторе воздушного транспорта, потребуют соответствующих проводников изменений, инженеров, менеджеров, обладающих знаниями технических аспектов и факторов нововведений, высокой мотивацией к нововведениям и способных влиять на коллективы, управлять изменениями.

Таким образом, приобретает особую актуальность необходимость опережающего обучения, гибкого взаимодействия между образовательными учреждениями и авиационной промышленностью, подготовка на договорной основе под конкретные рабочие места.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало, что текущее состояние и стратегические задачи устойчивого развития сектора воздушного транспорта обуславливают соответствующие изменения в модели занятости в среднесрочной и долгосрочной перспективе. На основании выявленной зависимости можно сделать вывод, что тенденции занятости и структура рынка труда позволяют определять прогнозные характеристики перспективных изменений в бизнес-системах. Нами выявлены ключевые тренды в количественном и качественном разрезе занятых в секторе воздушного транспорта. Так, изменение динамики происходит параллельно с изменением структуры и требованиями к квалификации персонала, моделью предоставления услуг, трансформацией бизнес-процессов в авиации, ростом дифференциации в оплате труда разных категорий сотрудников, появлением новых паттернов поведения соискателей на рынке труда в данном секторе (с точки зрения трудовых предпочтений и форматов конвертации накопленного человеческого капитала).

С учетом задач, стоящих перед сектором воздушного транспорта, можно определить систему приоритетов в стратегии обеспечения занятости:

1) формирование стратегически ориентированного на развитие человеческого капитала для устойчивой и бесперебойной работы данного вида транспорта;

2) формирование кластера занятости в секторе воздушного транспорта, предполагающего достижение эффективной занято-

сти не только в рамках функционирования воздушных судов и формирующихся хабов, но также с учетом взаимосвязанных сфер и комплекса рабочих мест, занятость на которых будет обеспечивать успешную реализацию бизнес-процессов в авиатранспортной отрасли в целом;

3) создание необходимой среды для подготовки высококвалифицированных и с расширенным набором компетенций специалистов и будущих лидеров изменений в секторе воздушного транспорта.

В рамках достижения стратегических целей необходимы:

- совершенствование мониторинга рынка труда и потенциала системы подготовки кадров для сектора воздушного транспорта;

- более широкое применение форматов целевого обучения в вузах;

- популяризация всего спектра профессий, относящихся к членам экипажей воздушных судов и обеспечивающему персоналу;

- модернизация программ профессионального образования для всех категорий работников сектора воздушных перевозок с учетом новых трендов развития данного сектора.

Особое значение приобретает разработка моделей подготовки требуемых кадров в рамках системы непрерывного профессионального образования для специалистов гражданской авиации [24].

Наряду с механизмами подготовки кадров необходима разработка систем мотивации для занятых во всем кластере воздушных перевозок, обеспечивающих внешние и региональные перевозки. Такие программы должны быть нацелены на сохранение летного состава для обеспечения региональных перевозок и устойчивого развития воздушного транспорта.

Таким образом, необходимо обеспечить эффективность занятости в условиях происходящей трансформации через разработку кадровых стратегий, согласованных с формирующимися бизнес-системами во всем кластере воздушных перевозок, выявление и устранение «зон потерь эффективности».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тихонов А. И., Сазонов А. А., Новиков С. В. Цифровизация авиационной промышленности // СТИН. – 2018. – № 11. – С. 29–36. EDN: YUGUXZ.

2. Pomonia, M., Laioua, A., Platia, C., Yannisa, G., Loukeab, M., Bekiarisb, E. Future trends in transport workforce based on demographic, behavioural, cultural and



socioeconomic factors. *Transportation Research Procedia*, 2020, 48, pp. 2811–2820. World Conference on Transport Research – WCTR 2019, Mumbai, 26–30 May 2019. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.08.237.

3. Ripoll-Zarraga, A. E., Huderek-Glaska, S. Airports' managerial human capital, ownership, and efficiency. *Journal of Air Transport Management*, 2021, Vol. 92, Iss. 3, 102035. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2021.102035.

4. Сушко О. П. Моделирование авиапассажирских перевозок России // *Мир транспорта*. – 2022. – Т. 20. – № 6 (103). – С. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-6-7>.

5. Комаристый Е. Н. Математические подходы к анализу спроса на пассажирские авиаперевозки // *Маркетинг и маркетинговые исследования*. – 2004. – № 3. – С. 10–16. EDN: HUWSTN.

6. Shchetinin, E. Yu. Study of the impact of the Covid19 pandemic on international air transportation. *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science*, 2021, Vol. 29, Iss. 1, pp. 22–35. DOI: 10.22363/2658-4670-2021-29-1-22-35.

7. Albers, S., Rundshagen, V. European airlines' strategic responses to the COVID-19 pandemic (January-May, 2020). *Journal of Air Transport Management*, 2020, Vol. 87, 101863. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2020.101863.

8. Serrano, F., Kazda, A. Business continuity during pandemics – lessons learned about airport personnel. *Transportation Research Procedia*, 2020, Vol. 51, pp. 56–66. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.11.008.

9. Байдукова Н. В., Бовкун Н. В. Экосистемная динамика развития бизнеса на воздушном транспорте в цифровую эпоху // *Экономика и управление*. – 2022. – Т. 28. – № 6. – С. 576–583. EDN: AOOADQ. DOI: 10.35854/1998-1627-2022-6-576-583.

10. Власов Н. В., Безбабных Н. Ю., Палкина Е. С. Тенденции развития цифровых технологий в аэропортах России и мира // *Современные проблемы инновационной экономики*. – 2021. – № 8. – С. 24–31. EDN: BKDIAH. DOI: 10.52899/978-5-88303-634-6_24.

11. Буровцев В. В., Парыгина Д. В. Использование сетевого подхода в неавиационной деятельности авиа-транспортного предприятия и оценка его эффективности // *Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева*. – 2022. – Т. 2. – № 1 (49). – С. 5–13. EDN: UIGLPB. DOI: 10.51965/20767919_2022_2_1_5.

12. Simonova, M. V., Sankova, L. V., Mirzabalaeva, F. I. Employment In Innovation Production Networks: Regional Sample. In: *Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development: Proceedings of the International Scientific Conference «Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development» (GCPMED 2018)*, 06–08 December, 2018, Samara State University of Economics, Samara, Russia. Ed. V. Mantulenko. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2019, Vol. 57, art. 136, pp. 1341–1348. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.136.

13. Biały, J., Rurak, A., Tomaszewska, J., Toruń, A., Woch, M., Zieja, M., Żurek, J. Statistical Analysis of the

Volume of Passenger Air Traffic in Europe in years 2004–2015. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 35, pp. 72–79. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.014.

14. Ерхова М. В., Шумкова Л. Г. Исследование индивидуальных мотиваторов выпускников транспортных учебных заведений // *Мир транспорта*. – 2022. – Т. 20. – № 5 (102). – С. 86–93. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-5-10.

15. Warnock-Smith, D., Graham, A., O'Connell, J. F., Efthymiou, M. Impact of COVID-19 on air transport passenger markets: Examining evidence from the Chinese market. *Journal of Air Transport Management*, 2021, Vol. 94, 102085. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2021.102085.

16. Njoya, E. T., Knowles, R. D. Introduction to the special issue: Air transport in the Global South. *Journal of Transport Geography*, 2020, Vol. 87, 102814. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102814.

17. Sobieralski, J. B. COVID-19 and airline employment: Insights from historical uncertainty shocks to the industry. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, Vol. 5, 100123. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100123.

18. Атлас новых профессий 3.0. / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. – М.: Интеллектуальная Литература, 2020. – 456 с. ISBN 978-5-907274-10-5. [Электронный ресурс]: https://atlas100.ru/upload/pdf_files/atlas_30.pdf. Доступ 21.02.2021.

19. Women and aviation: Quality jobs, attraction and retention, David Seligson. International Labour Organization, Sectoral Policies Department, Geneva, 2019. Working Paper No. 331. [Электронный ресурс]: <https://www.ilo.org/media/400746/download>. Доступ 27.02.2024.

20. Simonova, M. V., Starun, N. V., Kolesnikov, S. A., Spravchikova, N. A. Informal Employment Trends In: *Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development: Proceedings of the International Scientific Conference «Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development» (GCPMED 2018)*, 06–08 December, 2018, Samara State University of Economics, Samara, Russia. Ed. V. Mantulenko. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2019, Vol. 57, art. 82, pp. 837–845. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.82.

21. Pollio, A. Uber, airports, and labour at the infrastructural interfaces of platform urbanism *Geoforum*, 2021, Vol. 118, pp. 47–55 DOI: 10.1016/j.geoforum.2020.11.010.

22. Zaharia, S. E., Pietreanu, C. V. Challenges in airport digital transformation. *Transportation Research Procedia*, International Conference on Air Transport – INAIR 2018, 35, pp. 90–99. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.016.

23. Njoya, E. T., Nikitas, A. The role of air transport in employment creation and inclusive growth in the Global South: The case of South Africa. *Journal of Transport*, 2020, Vol. 85, 102738. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102738.

24. Иванова М. О. Моделирование системы непрерывной профессиональной подготовки персонала для гражданской авиации // *Креативная экономика*. – 2021. – Т. 15. – № 10. – С. 3711–3724. DOI: 10.18334/ce.15.10.113672. ●

Информация об авторах:

Симонова Марина Викторовна – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры архитектурно-строительной графики и изобразительного искусства Самарского государственного технического университета, Самара, Россия, m.simonova@mail.ru.

Санкова Лариса Викторовна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и маркетинг» Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина, Саратов, Россия, sankovalv@ssstu.ru.

Мирзабалаева Фарида Исламудиновна – кандидат экономических наук, доцент базовой кафедры Торгово-промышленной палаты Российской Федерации «Управление человеческими ресурсами» Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова; ведущий научный сотрудник отдела рынка труда Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт труда» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, Москва, Россия, Москва, Россия, faridamir@yandex.ru.

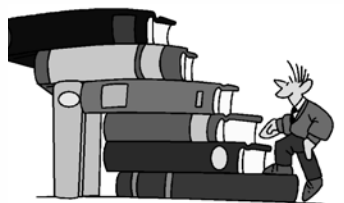
Статья поступила в редакцию 10.02.2024, одобрена после рецензирования 26.04.2024, принята к публикации 30.04.2024.



РЕЦЕНЗИЯ

140

Терминология: русско-английские аббревиатуры для специалистов-транспортников.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТЫ

143

- Экономическая оценка транспортно-логистической инфраструктуры.
- Рациональное ресурсное обеспечение перевозочных видов деятельности.
- Перевозка вязких нефтепродуктов в условиях изменения температурного режима внешней среды.
- Оценка загрязнения окружающей среды объектами энергетики.
- Бортовой накопитель энергии на электроподвижном составе метрополитена.
- Техническое обслуживание пути при наличии длинных неровностей продольного профиля.

НОВЫЕ КНИГИ

О ТРАНСПОРТЕ

148

Новые книги о транспорте и для транспортников, вышедшие в российских издательствах и университетах.





Специальные аббревиатуры и их значение в работе специалистов транспорта. Рецензия на словарь-справочник «Транспортные аббревиатуры. Русские и английские значения»



Анна КАШЕВСКАЯ

Анна Михайловна Кашевская

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

РИНЦ SPIN-код: 6746-9459.

✉ anna.kasevskaya@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

Транспортные аббревиатуры. Русские и английские значения: словарь-справочник / сост. В. В. Космин, А. А. Космина, О. А. Космина; под общ. ред. В. В. Космина. – М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 246 с. ISBN 978-5-9729-2015-0.

Статья-рецензия раскрывает необходимость знания, понимания и применения аббревиатур специалистами транспортного сектора, использования ими специальных источников информации для повышения уровня профессиональной

компетентности на примере специального словаря транспортных русских и английских аббревиатур под общей редакцией В. В. Космина. В словаре-справочнике представлена актуальная отраслевая терминология в виде аббревиатур и их расшифровок на русском и английском языках. Уточнены и стандартизированы понятия, используемые специалистами транспортного сектора и смежных отраслей. Издание содержит Инкотермс 2020, обновленные в соответствии с последними изменениями и договоренностями в сфере международной логистики.

Ключевые слова: транспорт, специалист сферы транспорта, аббревиатуры, специальная лексика, Инкотермс, лексикография.

Применение транспортной лексики является неотъемлемой частью профессиональной деятельности специалистов отрасли. Процесс глобализации повлек за собой технологические, социальные, информационные изменения, вызывающие трансформацию профессионального транспортного дискурса. Внедрение новых технологий в логистике (автоматизация, использование информационных систем и мобильных приложений и др.), интернационализация транспортных услуг, экологическая повестка и иные значимые аспекты привели к появлению новых

профессиональных терминов, использование которых является обязательным условием деятельности специалистов сферы транспорта (например, автомобильного¹). Особенностью данной терминологии является наличие многочисленных аббревиатур, употребляемых в устной и письменной коммуникациях, деловой документации, специальной литературе [1–3]. Как известно, под «аб-

¹ Федеральный закон от 08.11.2007 N 259-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).

Для цитирования: Кашевская А. М. Специальные аббревиатуры и их значение в работе специалистов транспорта. Рецензия на словарь-справочник «Транспортные аббревиатуры. Русские и английские значения» // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 2 (111). С. 140–142. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-15>.

Полный текст статьи-рецензии в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the review article translated into English is published in the second part of the issue.

бrevиатурой» понимают сложносокращенное слово, образованное из начальных букв или слогов какого-либо словосочетания [4]. Знание аббревиатур является обязательным требованием к специалистам любой отрасли, а наличие информационных источников, содержащих актуальную профессиональную терминологию, облегчает работу, является способом повышения их осведомленности и, как следствие, компетентности.

Словарь транспортных русских и английских аббревиатур под редакцией профессора Владимира Витальевича Космина представляет собой лексикографический труд, содержащий сокращения инициального типа, широко используемые в транспортном секторе. Соавторами словаря являются Анастасия Александровна Космина и Ольга Александровна Космина.

В данном издании представлено около пяти тысяч единиц русских и английских аббревиатур, применяемых в деятельности всех видов транспорта: железнодорожного, автомобильного, воздушного, трубопроводного и водного, включая морской и речной. Широкий спектр познаний в транспортной индустрии позволил авторам отразить терминологию, употребляемую в различных аспектах реализации ее деятельности. В справочнике представлена лексика, имеющая отношение к изысканию, проектированию, эксплуатации, развитию транспортного комплекса, взаимодействию видов транспорта и таким смежным вопросам, как экономическое развитие, информационное обеспечение и др.

Актуальность составления словаря-справочника транспортных сокращений обусловлена возможностью уточнить и стандартизировать понятия для повышения эффективности взаимодействия всех участников логистических цепей. Аббревиатуры встречаются в различных видах документации, используемых для реализации транспортных процессов (информационно-справочная, научно-техническая, нормативная, распорядительная, проектная и др.) [5–7]. Высокий процент содержания сокращенных технических терминов без расшифровок в документах и специальной литературе является одной из проблем, с которой сталкиваются специалисты транспортного сектора. Создание специализированных источников, содержащих необходимую информацию, позволяет сократить время на поиск смысловых значений, избежать ошибок и недоразумений, а также положительно сказывается на эффективности работы в транспортной логистике.

Важно отметить значимость изучения и систематизации специальных аббревиатур, так как это

способствует повышению качества работы специалистов сферы транспорта, так как [8; 9]:

- неправильное понимание сокращений может привести к ошибкам и последствиям, создающим угрозу безопасности транспортировки;

- знание сокращенных терминов способствует облегченному восприятию информации и повышает уровень взаимодействия с внешними партнерами;

- стандартизация при использовании единой системы сокращений позволяет обеспечивать функционирование транспортных процессов в соответствии с общими нормами и стандартами;

- использование аббревиатур позволяет экономить время при работе с профессиональной документацией;

- постоянная практика при работе с аббревиатурами развивает информационную грамотность и повышает уровень профессиональных стандартов;

- конкретизация при сокращенном обозначении маршрутов, типов услуг, видов транспорта и т.д. упрощает навигацию внутри отрасли и упрощает идентификацию.

Словарь-справочник составлен на основе нормативно-технической, научно-технической, учебно-методической транспортной документации. При подготовке данного издания авторами были проанализированы публикации в специальной периодической печати, собраны данные отечественных и зарубежных словарей аббревиатур, обобщены и систематизированы сокращения, используемые при обозначении инкотерминов, названий, локаций, объектов и т.д.

Рецензируемое издание отличается четкой структурой и состоит из двух частей. Сначала представлены русские аббревиатуры в алфавитном порядке с последующей расшифровкой каждого сокращения, затем следуют английские обозначения, описанные аналогичным образом. При совпадении написания аббревиатур с различными значениями аналоги размещаются с каждой новой строки через тильду (~) без повторения обозначения. Ряд сокращений имеет тождественные значения, приведенные через запятую (,), и несвязанные друг с другом значения, отделяемые через точку с запятой (;). Синхронизированная вариативность терминов позволяет быстро и четко определиться с искомым понятием в зависимости от контекста его употребления.

В англоязычной части словаря преимуществом является наличие русского перевода после английской расшифровки аббревиатуры, что значительно сокращает поиск информации о значении



конкретного термина. Для некоторых понятий, способных вызвать затруднения, в скобках приведены дополнительные комментарии. Преимуществом данного издания является содержание обновленных Инкотермс 2020, касающихся транспортных обязательств различных сторон и их договоренностей при реализации процессов международной логистики, а также последствий исполнения договорных условий. Владение актуальной информацией, представленной на двух языках, повышает потенциал транспортных специалистов и результативность их труда [3, 5, 13–15].

Специальный словарь транспортных русских и английских аббревиатур может быть использован специалистами транспортного сектора при работе с различными аспектами профессиональной деятельности. Применение словаря в качестве учебного пособия будет полезным в процессе подготовки будущих специалистов для расширения их терминологического запаса и развития поискового навыка при работе с информационными источниками. В лексикографии данный труд будет полезен составителям аналогичных справочных или методических пособий по транспортной или смежной тематике в качестве актуализированного информационного источника.

В заключение необходимо отметить, что значимость составления представленного словаря-справочника и подобных ему изданий заключается в систематизации специальной терминологии, облегчении транспортного дискурса, повышении ориентированности специалистов при работе с изданиями периодической печати, специальной литературой, деловой документацией, а также уровня осведомленности о понятиях, описывающих новые явления, объекты, процессы транспортной и смежных областей. Владение профессиональной терминологией повышает уровень квалификации специалистов транспортной индустрии, увеличивая их карьерные перспективы и возможности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бочкарев Д. И., Казаков Н. Н. Неологизмы в транспортной лексике // Феноменология транспорта в литературе: прошлое, настоящее, будущее: Материалы I Международной научно-методологической конференции, Гомель, 02 апреля 2021 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2021. – С. 11–12. EDN: KGRTZW.

2. Катермина В. В. Когнитивно-прагматический аспект транспортных неологизмов англоязычного дискурса // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2024. – № 1 (118). – С. 112–122. EDN: VOPBOQ. DOI: 10.23859/1994-0637-2024-1-118-8.

3. Мохова О. Л., Львова Н. И., Мухина Ю. М. Особенности перевода транспортной терминологии // Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. статей VIII Международной научно-практ. конференции, Пенза, 30 ноября 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 131–133. EDN: XKTJAX.

4. Кузнецов С. А. Большой толковый словарь русского языка. – 2-е издание. – Пекин: Shangwu Yinshuguan, 2020. – 1650 с. ISBN 978-7-100-18250-8. EDN: YJKUQP.

5. Грицык В. И., Космин В. В. Словарь аббревиатур. Транспорт, строительство, экономика, менеджмент, маркетинг, системотехника, информатика, геоинформатика: словарь. – М.: Изд-во Маршрут, 2009. – 277 с. ISBN 978-5-89035-545-4. EDN: WIXQZP.

6. Космин В. В. Словарь по инфраструктуре // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 5. – С. 5. EDN: YHRXSF.

7. Космин В. В., Космина А. А. Транспортная лексикография: история и современность // Техник транспорта: образование и практика. – 2021. – Т. 2. – № 1. – С. 105–113. EDN: IWPJID. DOI: 10.46684/2687-1033.2021.1.105-113.

8. Дражан Р. В., Кузнецова Н. А. Совершенствование профессионально-языковой компетенции специалиста в области транспортной логистики с учетом требований профессиональных и международных стандартов // Открытое и дистанционное образование. – 2017. – № 2 (66). – С. 65–73. EDN: YUIBHT. DOI: 10.17223/16095944/66/9.

9. Четчикова А. М. Профессиональные компетенции специалиста в сфере закупок // Профессионализм специалистов в сфере закупок как фактор успешной закупочной деятельности: Сб. научных докладов: сб. статей / Отв. ред. И. П. Гладилина. – М.: ООО «Издательство «КноРус», 2021. – С. 64–68. EDN: OAEPBO.

10. Богачев Д. М. Изменение роли ИНКОТЕРМС как универсального механизма регулирования трансграничной торговли // XXXIV международные Плехановские чтения: Сб. статей аспирантов и молодых ученых на английском языке, Москва, 16 марта 2021 года. – М.: Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, 2021. – С. 6–8. EDN: WRDPDD.

11. Бурханов С. Б., Вальков В. Е. Анализ изменений толкования правил Инкотермс 2020 и их использование в развитии морских перевозок // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2020. – Т. 54. – С. 96–108. EDN: RWLEO.

12. Петрова А. А. Сравнительно-правовой анализ редакций Инкотермс от 2010 года и Инкотермс от 2020 года // Prospective Research Solutions: сб. статей VI Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 24 января 2022 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2022. – С. 225–233. EDN: ZTBVOI.

13. Родыгина Н. Ю., Обуховская Л. А., Дергачев А. А., Мусихин В. И. Роль и эволюция терминов Инкотермс в унификации права международной торговли // Образование и право. – 2021. – № 11. – С. 157–166. EDN: JBXLZG. DOI: 10.24412/2076-1503-2021-11-157-166.

14. Холопов К. В. Инкотермс 2020: основные изменения для заключения и исполнения договоров международной купли-продажи товаров // Российский внешнеэкономический вестник. – 2020. – № 1. – С. 7–16. EDN: HHGYHW.

Информация об авторе:

Кашевская Анна Михайловна – старший преподаватель кафедры иностранного языка Российского университета транспорта, Москва, Россия, anna.kasevskaya@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 18.04.2024, одобрена после рецензирования 13.05.2024, принята к публикации 15.05.2024.

*Selected abstracts of Ph.D. theses submitted
at Russian transport universities*

*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/10.30932/1992-3252-2024-22-2-16>

Беломестнов И. В. Совершенствование экономического инструментария оценки транспортно-логистической инфраструктуры приграничного региона / Автореф. дис... канд. экон. наук. – Новосибирск, СГУПС, 2024. – 24 с.

Процессы трансформации экономических систем, интенсивно происходящие в последние годы, затронули транспортно-логистическую инфраструктуру России и ее регионов. Основными элементами транспортно-логистической инфраструктуры (ТЛИ) являются собственно транспортная инфраструктура, терминалы и склады, информационные системы и транспортно-логистические центры.

Современная ТЛИ непрерывно связана с тенденциями развития международной торговли, что является неотъемлемой частью государственной политики. Изменение направлений транспортных потоков с запада на восток привело к проблеме несоответствия транспортного потенциала восточных приграничных регионов и увеличения потребности экономики в перевозках в данном направлении

Цель исследования заключалась в совершенствовании научно-методических подходов и экономических инструментов управления, оценивающих перспективы развития транспортно-логистической инфраструктуры приграничного региона.

Систематизированы общеэкономические и специфические для регионов факторы, а также социальные и технологические процессы, обуславливающие необходимость стратегических изменений в транспортном потенциале и транспортной инфраструктуре приграничных регионов в рамках адаптации к стратегической транс-

формации экономических систем. Выявлено влияние этих факторов на процессы развития, протекающие в транспортно-логистической инфраструктуре.

Усовершенствованы методы экономической оценки развития транспортно-логистической инфраструктуры на основании сравнительного подхода.

Уточнено и дополнено понятие транспортно-логистических барьеров, как совокупности преград и преимуществ при организации международных перевозок, определено их влияние на стратегию развития транспортно-логистической инфраструктуры, разработана процедура управления транспортно-логистическими барьерами на основе выявления и моделирования взаимоотношений со стейкхолдерами.

На основе экспериментальных исследований дополнен и апробирован процессный подход к развитию транспортно-логистической инфраструктуры, сформирована процессная модель транспортных потоков, предложена система учета фактора времени при определении экономического эффекта от модернизации ТЛИ.

Предложена и апробирована модель организации эффективной цифровой среды для функционирования транспортно-логистической инфраструктуры.

Полученные результаты могут послужить основой для дальнейшего развития исследований в области эффективности деятельности транспортно-логистической инфраструктуры по таким направлениям, как локализация и оптимизация транспортно-логистических барьеров, формирование интегрированных региональных проектов развития.

5.2.3. – Региональная и отраслевая экономика (транспорт и логистика).

Работа выполнена и защищена в Сибирском государственном университете путей сообщения.

Горянская И. В. Повышение эффективности работы транспортной компании на основе рационального ресурсного обеспечения перевозочных видов деятельности / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М.: РУТ, 2024. – 24 с.

Эффективность деятельности любого предприятия зависит от рационального и обоснованного использования всех видов ресурсов. Сбалансированное обеспечение



ресурсами приобретает приоритетное значение при достижении конкурентного преимущества в снижении издержек. Усиление конкуренции на транспортном рынке требует от транспортных компаний поиска новых подходов для устойчивого экономического роста. Одним из механизмов повышения эффективности деятельности транспортной компании является рациональное ресурсообеспечение, что позволяет оптимизировать себестоимость перевозок, гарантирует более высокую прибыль и меньшие издержки, чем у других участников рынка.

Целью диссертационного исследования являлась разработка методического инструментария управления ресурсообеспечением и оценки влияния факторов рационального использования ресурсов на эффективность перевозочных видов деятельности транспортной компании.

Исследованы факторы, влияющие на развитие конкурентного преимущества доминирования по издержкам и устойчивый экономический рост транспортных компаний. Предложен методический инструментарий для расчета совокупного экономического эффекта при использовании конкурентной стратегии «доминирование по издержкам». Применение этой модели позволит выявить критичные факторы, приводящие к росту себестоимости перевозок, снизить издержки и повысить качество планирования затрат компании. Результат проведенных расчетов показал, что совокупный экономический эффект применения предложенных подходов управления ресурсообеспечением может составить от 3 до 15 % оптимизации себестоимости перевозочных видов деятельности транспортной компании.

Проанализированы различные подходы к управлению ресурсами без привлечения дополнительных финансовых средств. Предложен предиктивный инструментарий расчета расходов на основные виды ресурсов, приобретаемых транспортной компанией для осуществления перевозочных видов деятельности, учитывающий различные сценарные условия, что позволит снизить риски превышения расходов на ресурсы сверх плановых значений и повысить эффективность ресурсообеспечения.

Проанализировано влияние цен приобретаемых топливно-энергетических и металло-

емких ресурсов на расходы транспортной компании.

По результатам проведенного анализа разработан порядок корректировки плановой цены материалоемких ресурсов, применяемый при превышении индикаторов цены пороговых значений, что обеспечит ресурсный паритет участников процесса ресурсообеспечения. Применение предлагаемого порядка позволит своевременно определить необходимость корректировки цены на ключевые ресурсы в пределах коридора предельных значений (диапазона пороговых коэффициентов), что сбалансирует выгоды и риски обеих сторон контракта, поддержит производителей при негативной конъюнктуре сырьевых рынков.

Исследованы различные подходы для оценки влияния ресурсных факторов на расходы транспортной компании по перевозочным видам деятельности. На основании проведенного анализа предложен инструментарий, позволяющий выявить затратные и рискованные закупки ресурсов, имеющие существенное влияние на расходы, выполнить их количественную оценку.

Предлагается использовать результаты этой оценки как для формирования плановых параметров, так и для прогнозирования возможных рисков, которые будут учтены при принятии управленческих решений.

Разработана модель оценки влияния цен сырьевых компонентов на изменение стоимости металлоемкой продукции, приобретаемой транспортной компанией для обеспечения перевозочного процесса.

Разработаны методы планирования эффективного ресурсообеспечения на основе паритетной выгоды покупателя (транспортной компании) и производителя продукции.

Перспективой дальнейшей разработки темы является совершенствование механизма формирования прогнозных цен с использованием инструментария ценового паритета, так как проблематика внепланового роста затрат транспортных компаний, связанных с приобретением металлоемкой продукции и топливно-энергетических ресурсов, обусловлена удорожанием сырьевых компонентов.

5.2.3. – Региональная и отраслевая экономика (транспорт и логистика).

Работа выполнена и защищена в Российской государственной академии наук транспорта.

Ксенофонтова В. А. Моделирование физических свойств и процессов перевозки вязких нефтепродуктов в условиях изменения температурного режима внешней среды / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2024. – 20 с.

Вязкие нефтепродукты (ВНП) занимают значительный объем грузовых перевозок Российской Федерации, имея низкую рентабельность. Данный факт можно объяснить физическими и эксплуатационными свойствами нефтепродукта при охлаждении: за время перевозки ВНП охлаждаются, переходя в высоковязкое состояние. Их выгрузка без продолжительного и интенсивного разогрева, требующего дополнительных затрат времени и ресурсов, становится невозможной. При этом отличительной чертой всех вязких нефтепродуктов является низкая теплопроводность и большая величина объемного теплового расширения.

Целью работы является повышение эффективности процесса перевозки вязких нефтепродуктов в зимний период (то есть снижение затрат ресурсов и продолжительности транспортных операций по перевозке ВНП).

Применение предложенного численного метода расчета распределения температур в слое мазута переменной толщины при его разогреве (размыве) позволило получить его для выпукло-вогнутого сегмента.

Разработана методика построения математических моделей процесса поставки на основе временных стохастических сетей Петри.

Разработана статистическая имитационная модель, позволяющая определить рациональный вариант перевозки ВНП в зимних условиях с целью повышения эффективности как всего процесса перевозки, так и отдельных подпроцессов, реализованная посредством комплекса программ с использованием российской платформы Business Studio.

Нестандартное применение российской платформы Business Studio, предназначенной для моделирования производственных бизнес-процессов, позволило получить оценки экономического эффекта предложенного способа перевозки вязких нефтепродуктов. В результате имитационного моделирования получили, что мощность одной промывочно-пропарочной станции может быть увеличена в 3,4 раза при очистке котла вагона-цистерны от высоковязких остатков мазута; при циркуляционном способе слива ВНП расход пара, электроэнергии снижа-

ются на 37 % и 32 % соответственно, время разгрузки уменьшается на 4 % вагоно-часов (тестируемый период составляет полтора года); число оборотов состава за зимний период увеличивается почти вдвое.

Показана адекватность построенных моделей для модели циркуляционного слива мазута марки М-100 путем сравнения результатов, полученных при имитации, и данных, предоставленных действующей организацией.

Для остальных данные имитационного моделирования сравнивали с результатами, полученными аналитически.

Перспективным направлением дальнейших исследований является обобщение математической модели перевозки для любых видов продуктов с изменяющимися свойствами (общей модели).

1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Кузьмин В. Р. Методический подход, алгоритмы и программы для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГУПС, 2023. – 19 с.

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, среди приоритетов государственной энергетической политики – переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, а также рациональное природопользование и энергетическая эффективность.

Целью работы являлась разработка методического подхода, алгоритмов и программ для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики и поддержки принятия решений по снижению их вредного воздействия, основанных на использовании авторской информационно-вычислительной системы (ИВС).

Разработаны методический подход, алгоритмы и ИВС WICS для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики и поддержки принятия решений по снижению их вредного воздействия.

Выполнен анализ существующих методов и моделей для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики и подходов к построению ИВС.



Предложен методический подход для оценки загрязнений окружающей среды объектами энергетики, отличающийся интеграцией разрозненных методик и применением семантических технологий в рамках авторской ИВС и включающий систему онтологий, интегрирующую онтологии объектов энергетики и онтологии влияния объектов энергетики на окружающую среду; принципы интеграции методик расчетов выбросов и распространения загрязнений; алгоритмы расчетов выбросов и распространения загрязнений и оригинальный алгоритм пост-обработки результатов расчетов распространения загрязнений; методику оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды объектами энергетики.

Предложены формализованная модель ИВС и методика проектирования ИВС на основе агентно-сервисного подхода, отличающаяся применением событийных моделей для описания агентных сценариев и применением онтологий для проектирования баз данных. На ее основе была разработана агентно-сервисная архитектура и выполнены программная реализация ИВС WICS, базы знаний, хранящей систему онтологий, и реализация баз данных выбросов вредных веществ от объектов энергетики (DB PEF) и результатов снегосъемки (DB SMP).

Разработана технология оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики на основе предложенного методического подхода и ИВС WICS.

С использованием разработанных технологий и инструментария выполнены исследования, основанные на серии вычислительных экспериментов, результаты которых показывают их применимость при формировании технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации объектов энергетики.

Выполнена интерпретация результатов вычислительных экспериментов и сформулированы, с их учетом, рекомендации по мероприятиям для снижения негативного воздействия действующих объектов энергетики на окружающую среду. Для предложенных рекомендаций была выполнена оценка эффективности в случае их реализации: влияние на снижение объемов выбросов загрязняющих веществ и снижение экономического ущерба, наносимого атмосферному воздуху.

Результаты диссертационной работы применены при выполнении проектов по госзадачу ИСЭМ СО РАН, проектов, поддержанных

грантами Российских (РФФИ и РНФ) и международных (ЕАПИ) научных фондов и переданы в Институт энергетики НАН Беларуси.

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения.

Плетнев Д. С. Бортовой накопитель энергии на электроподвижном составе метрополитена / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2024. – 24 с.

Все развитые государства соблюдают мировые соглашения о «зеленой» энергетике и способствуют бережному использованию природных ресурсов. Это выражается в принятии различных правительственных программ по ресурсо- и энергосбережению. Одной из отраслей экономики, где это явно выражается, является электроэнергетика, а в ней – электроснабжение электрического транспорта

Целями диссертационной работы являлись исследование эффективности внедрения накопителей энергии на электроподвижном составе метрополитена, разработка технических решений и поиск путей практической реализации БНЭ в составе электрооборудования ЭПС.

Определены основные критерии, позволяющие оценить эффективность использования накопителя энергии на борту электроподвижного состава метрополитена.

Выполнен анализ существующих типов накопителей энергии, среди которых определены наиболее подходящие для использования на ЭПС метрополитена.

Разработаны теоретические положения по обеспечению экономии энергии и повышению безопасности движения ЭПС, отличающиеся от существующих теоретических решений использованием бортового накопителя на ЭПС.

Проведены экспериментальные замеры показателей работы ЭПС на двух линиях Московского метрополитена, за счет чего были получены реальные данные по расходу электроэнергии на межпоездной обмен и избыточной энергии рекуперации.

Создана цифровая модель работы электроподвижного состава в структуре системы тягового электроснабжения линии Московского метрополитена.

Разработана методика и выполнено сравнение результатов проведенного имитационного моделирования движения поезда с результатами экспериментальных замеров параметров движения ЭПС на линии Московского метрополитена по интегральным показателям, методом вероятностного анализа по логистическому закону распределения, по критерию Стьюдента. Доказана сходимость результатов.

Разработана программа для статистического анализа электрических параметров поезда. Разработан дополнительный модуль программы, предназначенный для определения числа циклов перезаряда и энергоемкости бортового накопителя электроэнергии.

Разработана структурная схема и конструкция накопителя энергии для использования на борту ЭПС. Определены основные характеристики бортового накопителя энергии. При инструментальном обследовании подвагонного пространства было определено свободное место под размещение бортового накопителя энергии.

Определена энергоемкость накопителя электроэнергии на подвижном составе по технико-экономическим параметрам.

Разработана методика и произведена технико-электротехническая оценка эффекта от применения накопителя энергии на борту ЭПС метрополитена в современных условиях эксплуатации.

Рекомендуется внедрение бортовых накопителей энергии на электроподвижной состав метрополитенов для повышения энергоэффективности движения поездов, а также для обеспечения дополнительной безопасности пассажиров при аварийных остановках движения, связанных с прерыванием питания от системы тягового электроснабжения, за счет реализации функции автономного хода.

Перспективой дальнейшей работы по теме является разработка методов по автоматизированному выбору емкости бортового накопителя электроэнергии на электроподвижном составе метрополитена.

2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Чечельницкий А. И. Система технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2024. – 24 с.

Развитие железнодорожного транспорта неразрывно связано с повышением скоростей движения поездов, повышением осевых нагрузок и веса грузовых поездов. Ретроспективный анализ показывает, что только с начала третьего тысячелетия средний вес поезда увеличился на 20 %, а осевые нагрузки выросли на 26 %.

Целью исследования являлась разработка научно обоснованной системы оценки влияния длинных неровностей пути и их сочетания с короткими неровностями на безопасность движения поездов и управления состоянием пути при наличии таких неисправностей.

По результатам диссертационной работы обобщены научные исследования причин образования длинных профильных неровностей и их влияния на показатели динамики подвижного состава, интенсивность накопления неисправностей и, как следствие, безопасность перевозочного процесса.

Систематизированы параметры длинных неровностей на сети дорог ОАО «РЖД» в различных условиях эксплуатации, расположившиеся по длине в диапазоне от 25 до 200 м, а по амплитуде от 22 до 164 мм.

Доказана возможность использования обобщенных моделей оценки влияния длинных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава при различных вариантах влияния продольных сил.

Изучено влияние продольных сил тяги и электродинамического торможения составов на динамические показатели подвижного состава при наличии в пути длинных неровностей продольного профиля.

Доказано, что наиболее неблагоприятное воздействие на показатели динамики подвижного состава имеют сочетания неровностей на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

Введено новое понятие в систему организации технического обслуживания пути – немедленное устранение сочетаний длинных неровностей с просадками 3-ей степени и 2-й степени, близкой к 3-ей.



Разработана технология устранения длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями для обеспечения безопасного движения поездов.

Разработана научно-обоснованная система организации технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

Определены перспективы оптимизации системы технического обслуживания пути на грузонапряженных участках с длинными неровностями, образовавшимися вследствие недостаточной несущей способности земляного полотна.

Разработаны и утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 30.11.2023 № 1322 предложения по изменению нормативов содержания пути и порядка выполнения работ

по параметрам длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями для проведения эксплуатационной проверки.

Рекомендуется применение разработанной системы технического обслуживания пути в качестве типовой при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

Перспективой дальнейшей разработки темы является определение параметров длинных неровностей и скорости их развития от уровня силовой нагруженности пути и характеристик грунтов основания.

2.9.2. – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта. ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска

The list of titles in English is published in the second part of the issue

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-17>.

Абанкина И., Абдуллаев А., Андреева А. [и др.]. Города РФ. Городская экономика для практиков: Городская экономика для практиков: Учебник. – М.: Просвещение, 2024. – 525 с. ISBN 978-5-09-118122-7.

Абдурахманов К. Х., Абузаров М. И., Антонов В. Г. Управление бизнес-экосистемами: в двух книгах / под общей редакцией академика Академии наук Республики Узбекистан, доктора экономических наук, профессора К. Х. Абдурахманова. Кн. 2. – М.: РЭУ им. В. Г. Плеханова, 2024. – 213 с. ISBN 978-5-7307-2094-7.

Афанасьев М. П., Шаш Н. Н. Финансы устойчивости: Учеб. Пособие. – М.: Дашков и К, 2024. – 223 с. ISBN 978-5-394-05868-4.

Бажутова Е. А., Дягилева Е. В., Корчак Е. А. [и др.]. Системные и современные проблемы, риски, возможности экономического развития российской Арктики: Монография / под научной редакцией Т. П. Скуфьиной, Н. А. Серовой. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра, 2024. – 222 с. ISBN 978-5-91137-508-9.

Блау С. Л., Хомутова Е. В. Страхование внешнеэкономической деятельности: Учебник. – М.: Дашков и К, 2024. – 212 с. ISBN 978-5-394-05536-2.

Ганченко О. И., Петрова Е. В., Анастасов М. С. Статистика транспорта: Учебник для студентов транспортных образовательных учреждений / под редакцией О. И. Ганченко. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2024. – 440 с. ISBN 978-5-00184-098-5.

Глинский В. В., Серга Л. К., Ионин В. Г. [и др.]. Статистика: Учебник / под редакцией В. В. Глинского. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 371 с. ISBN 978-5-16-018343-5.

Голубев О. В. Железнодорожный путь. Верхнее строение железнодорожного пути. Расчеты рельсовой колеи и одиночного обыкновенного стрелочного перевода: Учеб.

пособие. – Екатеринбург: УрГУПС, 2024. – 114 с. ISBN 978-5-94614-552-7.

Григорьев Н. П., Клыков М. С., Воприков А. В. [и др.]. Информационное моделирование схем питания тяговых нагрузок: Монография / под редакцией Н. П. Григорьева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2024. – 103 с. ISBN 978-5-262-00973-2.

Грунтов А. В. Правовая компетенция специалиста командного плавсостава: Учебно-метод. пособие. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2024. – 76 с. ISBN 978-5-7481-0550-7.

Закирова А. Р. Методология управления профессиональными рисками в энергетическом комплексе железнодорожного транспорта: Монография. – Екатеринбург: УрГУПС, 2024. – 168 с. ISBN 978-5-94614-538-1.

Заренбин В. Г., Чайнов Н. Д., Русинковский С. Ю., Вальехо Мальдонадо П. Р. Моделирование теплового состояния и расчет на задание пар трения базовых теплонапряженных деталей поршневых двигателей: Монография / под редакцией докт. техн. наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации Н. Д. Чайнова. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 221 с. ISBN 978-5-16-019033-4.

Зуев С. М., Якутль Д. Р., Басс Б. А., Малеев Р. А. Устройство воспламенения топливовоздушной смеси тепловых двигателей: Учеб. пособие / под редакцией С. М. Зуева. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 181 с. ISBN 978-5-16-018125-7.

Карагодин В. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных двигателей: Учебник. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2024. – 271 с. ISBN 978-5-0054-1805-0.

Лач С. Ю., Чернышева О. Б. Исследование энергетических объектов: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: ГУАП, 2024. – 95 с.

Набоков В. И. История управленческой мысли: Учебник. – М.: Дашков и К, 2024. – 273 с. ISBN 978-5-394-05515-7.

Савин А. В., Соломатин Е. В., Королев В. В., Шишкина И. В. Элементы безбалластного пути: Учеб. пособие / РУТ (МИИТ). – М.: Перо, 2024. – 132 с. ISBN 978-5-00244-111-2.

Синицына А. С., Некрасов А. Г., Конарева Н. А. [и др.]. Клиентоориентированные транспортно-логистические системы и технологии: Учеб. пособие. – 2-е изд. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 171 с. ISBN 978-5-4497-2321-5.

Титов С. А., Линдер Н. В., Трачук А. В. [и др.]. Управление цифровой трансформацией бизнеса: концепции, кейсы, методы и инструменты: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 222 с. ISBN 978-5-16-018697-9.

Составила Н. Олейник ●



In one language:
accounting for different levels of detail,
accounting for differences in subject preferences,
combining thematic strategies,
conveying topologies.

In different languages:
finding abstract generalizations,
translation and reduction to a single formalization of topological pre-object,
analysis of pre-descriptions.

Database

Knowledge base



```

import sys
import pickle as pb

ip = get_host_from_ip_address('localhost', 8080)
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
s.connect((ip, 8080))
data = s.recv(1024)
print(data)

```



On Formation of Geospatial Knowledge Based on Transformation of Geo-Descriptions



Igor N. ROZENBERG



Sergey K. DULIN

Igor N. Rozenberg¹, Sergey K. Dulin²

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² Federal Research Centre «Informatics and Control» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

² Joint Stock Company «Design & Research Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunication on Railway Transport» (JSC «NIIAS»), Moscow, Russia.

✉ ² skdulin@mail.ru.

ABSTRACT

An approach presented within the framework of the problem of formalisation and presentation of geoinformation structures in the GIS environment and based on the functional programming capacity is intended to simplify the techniques of dealing with characteristics of geodata attributes. The paper considers issues related to formation, comparison and transformation of geo-descriptions for updating geoinformation in the GIS environment. To implement the

transformation of geo-descriptions, a simplification of formation of a tool for representing geoinformation and geo-text sets is proposed. The approach described in the paper is based on the choice of a functional programming paradigm implemented in the form of data analytics machine, which allows implementing transformations of geo-descriptions in various GIS languages and maintaining the geodata repository in an up-to-date state.

Keywords: GIS; formation, comparison and transformation of geo-descriptions; functional programming tools.

For citation: Rozenberg, I. N., Dulin, S. K. On Formation of Geospatial Knowledge Based on Transformation of Geo-Descriptions. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 150–155. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-1>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

Processing of geoinformation applying a symbology layer causes constraints in implementation of semantic processing of GIS resources due to weak standardisation of attributive and visual geoinformation and poor-quality structures of its description, which are necessary for creation of an interconnected set of GIS resources. Descriptions of geodata, due to their heterogeneity, cannot be presented exclusively in linguistic form, therefore, the idea of developing an approach based on functional programming may be productive, which would allow to match geodata with encapsulated functions of their processing, that to some extent reflect their semantics [1; 2]. The proposed approach will allow to expand the system of used geo-descriptions pertaining to various GIS languages, including the presentation of visual geospatial knowledge.

RESULTS

Two Scientific Directions in Development of Cartographic Systems

The synthesis of cartography and semiotics gave rise to a new scientific discipline, i.e. cartosemiotics, which included the analysis, interpretation and transformation of symbolic cartographic systems.

Cartosemiotics uses linguistic descriptions in geoinformatics and makes it possible to represent attributive characteristics of maps, such as symbols and legends, using special linguistic construction of maps with model and content components.

Over time, five sections were recorded in cartosemiotics, one way or another related to creation of geo-descriptions: cartosemiotic, cartolinguistic, formal-logical, cybernetic and sublinguistic. However, the formal-logical and sublinguistic sections have not undergone significant development and are marginal in nature.

Cartosemiotics, being essentially applied semiotics, includes three components similar to semiotics: 1) cartographic syntax of system of signs; 2) cartographic semantics associated with the analysis of meaning of the signs used, corresponding to the described GIS resources; 3) cartographic pragmatics, which allows us to measure the utility of the signs used depending on the level of knowledge and professional background of users of GIS resources. The central element in cartosemiotics refers to

development of a map language – a correct and consistent symbology system designed to display cartographic information. The quality of the map language is characterised by the level of development of the means of presenting geospatial knowledge and by the possibility of visualising cartographic information. The most significant contribution to development of the map language was made by A. A. Lyuty [3]. The map language he created includes two sublanguages: one allows us to present the composition of geospatial objects (geo-bojecdts), and the other represents the geometry and topology of geospatial objects. Increased requirements for management of geospatial resources have led to a rapid growth in proposals and additions in the field of developing geospatial standards, which have made it possible to more fully and accurately form representations of geospatial knowledge based on the entered geo-descriptions.

A. A. Lyuty considered three forms of presenting geospatial knowledge: «non-verbal knowledge, verbal knowledge, and knowledge that can be presented in both verbal and non-verbal forms» [3]. Thus, the maps, aerial photographs, lithological and stratigraphic columns, geocharts, paleotectonic schemes, geochemical diagrams, and correlation schemes are nothing more than various geo-text.

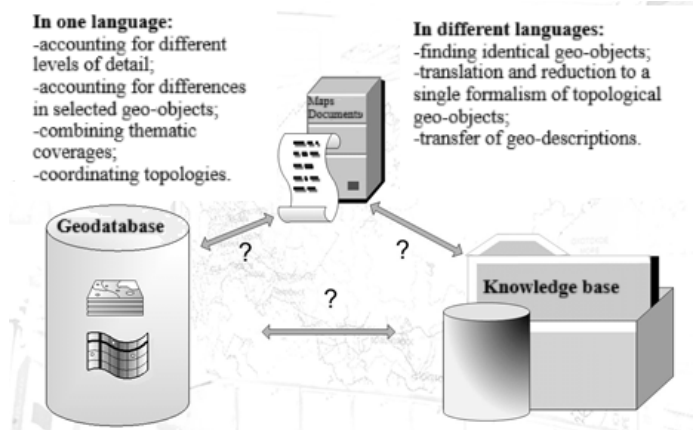
One of A. A. Lyuty’s most significant contributions to geoinformatics was development of the semiotics of geoinformation, which he called geosemiotics [3]. In geosemiotics, geographic concepts are divided into five categories (Pic. 1).

A. A. Lyuty studied the problem of correlating the figurative and verbal within the framework of the task of geosemantic description of geographical space for development of an electronic image of the Earth. His research on the location and mutual influence of geographical space elements made it possible to solve



Pic. 1. Categories of geographical concepts.





Pic. 2. Tasks of matching geo-descriptions.

geoinformatics problems based on geo-descriptions.

Tasks of Matching Geo-Descriptions

The heterogeneity of geodata causes high costs for development, storage, processing and support of geo-descriptions. Their interoperability causes additional burden due to non-correlated formats and differences in geodata providers and software services. The task of matching geo-descriptions for their joint coordinated use is an important undertaking that requires software, technological and linguistic solutions [4; 5]. For the joint use of geodata based on the matching of geo-descriptions, a semantic level of interoperability is needed, but the autonomy of the developed software systems leads to localisation of the specifics of geo-descriptions. Attempts to integrate heterogeneous geo-descriptions with non-correlated formats lead to costs for coordinating contradictory geodata models that exceed the costs of the development of geo-descriptions itself.

The designed geodatabases are most often of a personalised or departmental nature, which requires additional measures for their joint use. If, at the same time, geodatabases tend to be constantly replenished, then additional requirements arise for scalability of GIS and development of models for matching geo-descriptions that ensure the consistency and integrity of geodata.

Matching geo-descriptions includes procedures for processing references and establishing links between different levels of detail to implement interoperability between the matched geospatial objects [6]. Interoperability

is necessary for functional compatibility and correct matching of geodata of different levels of detail.

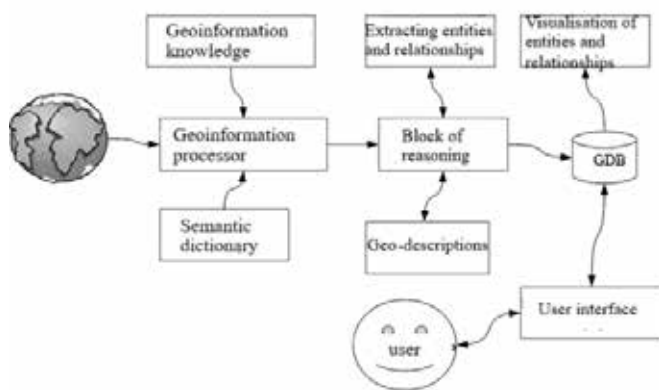
Additional difficulties are caused by the presence of multilingual geo-descriptions, which is not such a rare phenomenon. The aggregate geo-description is built based on the synthesis of geo-descriptions presented in different natural languages. The tasks of matching geo-descriptions in different languages are presented in Pic. 2.

Successful matching of geo-descriptions ensures:

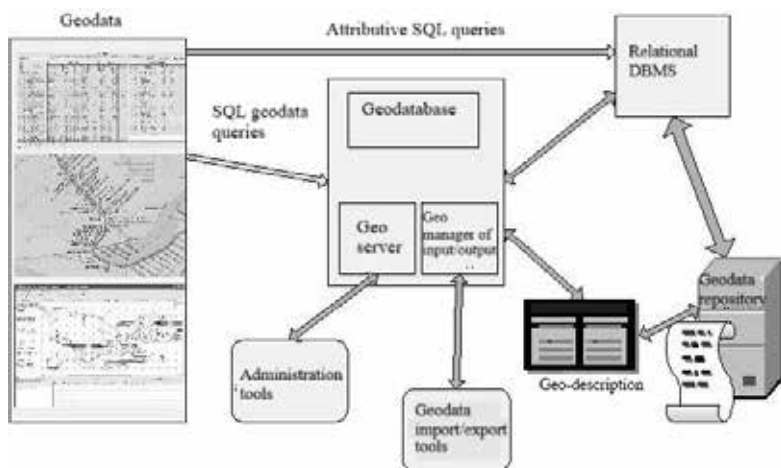
- Improvement of information content.
- Increase in the semantics of geo-descriptions.
- Identification of the quality of geo-descriptions.
- Increased interoperability of expert analysts.
- Testing of methods for matching geospatial objects.
- Development of methods for transforming geo-descriptions.

Formation of Geo-Descriptions

The content of the geoinformation portal is not limited to visual cartographic information. The geodatabase contains and processes a large amount of attributive (semantic) data in the form of different types of texts and documents. The geoinformation portal, as noted by A. A. Lyuty, is an «electronic library with geo-text in different natural languages». The heterogeneity of geodata leads to the semiotic heterogeneity of geo-text stored on the geoinformation portal. From the standpoint of the query-response mode of the database, the processing of existing geo-texts should ensure obtaining the requested information. Pic. 3 shows the blocks that provide



Pic. 3. Analysis and processing of geo-descriptions in the form of geo-texts.



Pic. 4. Geoinformation interaction of geo-descriptions.

analysis and processing of geodata presented by geo-descriptions in the form of geo-texts.

The geoinformation environment for creating and maintaining geo-descriptions is a synergy of the GIS information content, the repository storage environment, and of software aimed at manipulating the necessary geodata. It is worth noting the specifics of the geodata repository, which acts as a coordinator for implementation of the matching of geo-descriptions with other geo-descriptions, ensuring relevant interoperability of geo-descriptions (Pic. 4).

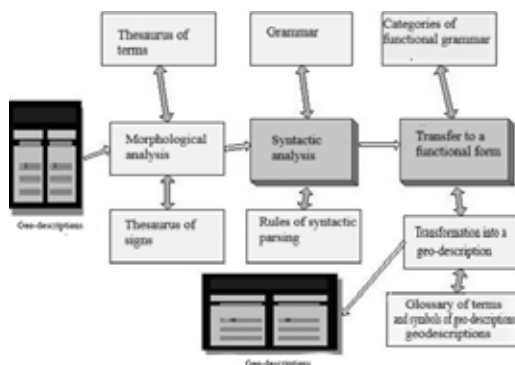
Transformation of Geo-Descriptions

The need to transform geo-descriptions arises if it is necessary to analyse and match multilingual geo-descriptions, synthesising mutually complementary relevant geo-descriptions. It is quite probable that such a transformation is of the greatest importance for formation of a geodata repository, due to a smaller number of constraints on the stored structures compared to a geodatabase.

The linguistic nature of the task of transforming geo-descriptions makes it similar to the task of translating natural language texts using special programs that perform interlingual transformation [7]. If we choose a highly formalised GIS language in which the geo-description is performed, then existing methods of interlingual transformation can be used to transform geo-descriptions.

The key idea of the proposed approach to the analysis of GIS linguistic structures is a simple proposition: to represent grammatical rules as functions in the mathematical sense, that is, as a mapping of the type $A \rightarrow B$, where A and B are some finite sets. For each of the GIS languages, there is a corresponding data analytics machine, thanks to which grammatical parsing can be performed automatically, i.e. by means of computational procedures. The use of a data analytics machine based on the paradigm of the functional approach assumes conducting the analysis of normalised texts in natural language.





Pic. 5. Blocks of transformation of geo-descriptions.

Normalised text is a text processed by a syntactic and/or morphological analyser. As another constraint, it should be noted that it is necessary to specify the subject area of the analysed geo-text.

The approach to the description of grammar rules as to the assignment of a mathematical function (with its domain of definition and range of value) makes it possible to apply the paradigm of functional programming, which is based on pure functions and immutable data structures, when implementing the data analytics machine in software. It should also be noted that the use of the functional programming environment as a data analytics machine allows the designer to use tuples and «guard functions».

An atom is any uniquely defined identifier. Atoms are intended to specify the attributive characteristics of geolanguage attributes. In this way, all possible attribute characteristics of geolinguistic structures are specified, and the formalism of functional programming turns out to be a sufficient formalism for the analysis of geolinguistic structures, so that there is no need to use any other mathematical tools.

Using a data analytics machine based on a functional programming language as a tool will allow us to design a data analytics machine that implements formal rules for transforming geo-descriptions in the form of mathematical functions.

Based on the grammar of functionally defined geo-texts and choosing a functional programming environment [8; 9], we can obtain a data analytics machine for analysing geo-texts relevant to the selected grammar. Besides, choosing a functional programming environment gives developers access to control at the level of such structures as language atoms and tuples when processing attributive characteristics of geo-descriptions.

Defining attribute properties takes on a different meaning here. When moving to the level of tuples and atoms in a functional language, working with attribute characteristics is no longer the prerogative of the geodatabase; this load is taken on by the functional programming language. Accordingly, support for the integrity and processing of attribute characteristics is carried out using a functional language, and not a geographic information system. This circumstance greatly simplifies the creation of a data analytics machine for transforming geo-descriptions, since attribute characteristics are processed outside the GIS model.

The main advantage of using functionally computable grammars [9] when working with attribute characteristics of geo-descriptions is that the grammar rules are already elements of a functional programming language, which simplifies the solution of a number of issues when designing a geoinformation system, such as resolving ambiguities in the interpretation of rules or setting the rules themselves. At the same time, when setting rules, it is possible to use both the tools of the functional language itself and its extensions, such as «guard functions», which allow you to set rules in a flexible form, which in turn will make working with attribute characteristics of geo-descriptions more adaptable to the problem being solved.

Thus, having formalised attribute characteristics of geo-descriptions and a set of grammar rules specified in a functional form, it is possible to use a functional programming language to process them and not design a separate data analytics machine and also take the processing of rules out of the geoinformation model.

It should be noted that the approach described above allows not only to analyse the attribute

characteristics of geo-descriptions, but also to generate them in the form required for further tasks of the system.

The system for transforming geo-descriptions is shown in Pic. 5.

It is easy to see that the processing stages during the transformation of geo-descriptions are similar to the processing stages during interlingual transformation [10; 11]. Morphological and syntactic analysers, as noted above, are necessary to obtain a normalised geo-text, which is transferred to the transfer unit in a functional form. Functional programming tools use grammar rules, synthesising the functional form of a geo-description. The final stage of the resulting geo-description can ensure its translation into another geolanguage.

The proposed scheme for transformation of geo-descriptions is aimed at providing the ability to process geo-descriptions presented in different geolanguages when working with GIS.

CONCLUSION

The article presents an approach that allows considering the semantics of geospatial objects by analysing and transforming geo-descriptions of their attributive characteristics. The possibility of simplifying the processing of attributive characteristics of geodata is based on the use of functional programming languages. The research studies the issues related to the formation, matching and transformation of geo-descriptions for updating geoinformation in the GIS information environment. To implement the transformation of geo-descriptions, a simplification of the formation of a tool is proposed based on the functional programming paradigm for representing geoinformation and a set of geo-texts in various geolanguages.

The implementation of a geo-description transformation system based on a functional programming environment will solve the problem of transforming geo-descriptions similarly to transforming interlingual texts.

As a further study in the field of geo-descriptions, it is suggested to develop

a specialised functional programming environment designed to solve the problems of processing and analysing geo-descriptions.

REFERENCES

1. Dulin, S. K., Dulina, N. G., Nikishin, D. A. Problems of maintenance of semantic geo-interoperability and coordination of understanding of geodata semantics. *Systems and Means of Informatics*, 2016, Vol. 26, Iss. 1, pp. 86–108. DOI: 10.14357/08696527160107.
2. Tarasov, V. B. The Problem of Understanding: The Present and Future of Artificial Intelligence [*Problema ponimaniya: nastoyashchee i budushchee iskustvennogo intellekta*]. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015)*: Proceedings of V International scientific-technical conference (Minsk, 19–21 February 2015), 2015, Iss. 5, pp. 25–42. EDN: ZIAXUN.
3. Lyuty, A. A. Map Language: Entity, System and Function [*Yazyk karty: sushchnost, sistema, funktsii*]. Moscow, GEOS publ., 2002, 327 p. ISBN 5-89658-018-5.
4. Shihong Du, Qimin Qin, Qiao Wang, Haijian Ma. Evaluating structural and topological consistency of complex regions with broad boundaries in multi-resolution spatial databases. *Information Sciences*, 2008, Vol. 178, Iss. 1, pp. 52–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2007.07.023>.
5. Schreiber, G. Knowledge acquisition and the web. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2013, Vol. 71, pp. 206–210. [Electronic resource]: <https://www.cs.vu.nl/~guus/papers/Schreiber13a.pdf>. Last accessed 17.04.2024.
6. Makarenko, S. I., Oleynikov, A. Y., Chernitskaya, T. E. Models of interoperability assessment for information systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, Iss. 4, pp. 215–245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
7. Kozerenko, E. B. Linguistic modeling for machine translation and knowledge processing systems [*Lingvisticheskoe modelirovanie dlya sistem mashinnogo perevoda i obrabotki znaniy*]. *Informatika i ee primeneniye*, 2007, Vol. 1, Iss. 1, pp. 54–65. EDN: KVICUX.
8. Dushkin, R. V. Functional Programming in Haskell [*Funktsionalnoe programmirovaniye na yazyke Haskell*]. Moscow, DMC Press, 2006, 608 p. ISBN 5-94074-335-8.
9. Dulin, S. K., Ermakov, P. V. Functional-computable grammars in problems of text analysis in natural language [*Funktsionalno-vychislimiy grammatiki v zadachakh analiza tekstov na estestvennom yazyke*]. Moscow, CC RAS, 2011, 22 p.
10. Dulina, N., Kozhunova, O. Information monitoring system: a problem of linguistic resources consistency and verification. *Third International Conference «Problems of Cybernetics and Informatics» (PCI'2010)*. Baku, Elm, 2010, pp. 56–58.
11. Kozerenko, E. B. Linguistic aspects of informatics [*Lingvisticheskie aspekty informatiki*]. *Systems and means of informatics // Special issue «Scientific and methodological problems of informatics»*, 2006, Iss. 16, pp. 88–111. [Electronic resource]: http://www.ipiran.ru/journal/collected/2006_16a/01-03.pdf. Last accessed 15.02.2024. ●

Information about the authors:

Rozenberg, Igor N., D.Sc. (Eng), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientific Officer of Russian University of Transport, Moscow, Russia, tu@mit.ru.

Dulin, Sergey K., D.Sc. (Eng), Professor, Leading Researcher Federal Research Centre «Informatics and Control» of the Russian Academy of Sciences; Chief Researcher of Joint Stock Company «Design & Research Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunication on Railway Transport» (JSC «NIIAS»), Moscow, Russia, skdulin@mail.ru.

Article received 16.02.2024, approved 29.04.2024, accepted 15.05.2024.





Traffic Flow Intensity Research Based on Deep Learning



Igor N. PUGACHEV



Nikolay G. SHESHERA



Denis E. GRIGOROV

Igor N. Pugachev¹, Nikolay G. Sheshera², Denis E. Grigorov³

¹ Khabarovsk Federal Research Centre of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.

^{2,3} Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Khabarovsk, Russia.

¹ ORCID 0000-0003-0345-4350; Web of Science Researcher ID: ABY-8399-2022; Scopus Author ID: 56386223400; Russian Science Citation Index SPIN-code: 1856-1556; Russian Science Citation Index Author ID: 416392.

² ORCID 0009-0006-3302-5572; Web of Science Researcher ID: LCI-5197-2024; Scopus Author ID: 57209470019; Russian Science Citation Index SPIN-code: 9869-8822; Russian Science Citation Index Author ID: 1033608.

³ ORCID 0009-0005-4049-9488; Scopus Author ID: 57209470019; Russian Science Citation Index SPIN-code: 6146-4152; Russian Science Citation Index Author ID: 1084181.

✉ ² kolyaka239@mail.ru.

ABSTRACT

In a harmonious transport system, traffic flows are rationally distributed depending on the capacity of roads and streets to ensure transit capacity, considering the traffic light control systems. At the same time, due attention is not paid to changes in weather and natural conditions, which in turn significantly adjusts driving regimes, taking them out of a stable, predictable state. Modern software and hardware systems and information resources of large cities have a wide range of recorded indicators that affect distribution of traffic flows. Their automated processing using algorithmic machine learning tools has formed a comprehensive understanding of the patterns of change in the traffic intensity indicator, which is a new stage of improving road traffic safety, striving for zero mortality.

The scientific novelty of the study refers to the techniques and approaches to studying the weather and climate characteristics and factors of the street-and-road network, their preliminary processing using modern statistical and logical methods of normalisation and eliminating random outliers.

The deep learning method opens wide opportunities for analysing the intensity of the road traffic flow. By processing large amounts of data, such algorithms are able to identify complex patterns and relationships, which improves traffic forecasting and optimises traffic management. For correct operation of the neural network for training the model and studying the road traffic flow intensity, a set of software tools for preliminary data processing has been developed, which includes a step-by-step analysis of array structures with subsequent replacement of values or elimination of errors.

Preliminary data cleaning in accordance with the syntax of the program logic and the rules of statistical analysis is followed by application of a method for searching and eliminating anomalies was used, i.e. the isolation forest method.

This research direction was part of a large study on road traffic flow intensity, and the described results are a set of solutions based on the system interaction of software and methods of statistical and analytical transformations developed by the authors.

Keywords: transport systems, traffic flow intensity, deep learning method, weather and natural conditions, neural networks, model.

For citation: Pugachev, I. N., Sheshera, N. G., Grigorov, D. E. Traffic Flow Intensity Research Based on Deep Learning. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 156–168. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-2>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Modern trends in development of information technology offer a wide range of data analysis capabilities. The presence of large number of features make it possible to form various patterns of transport environment distribution and consider weather conditions in each respective environment¹ [1].

Artificial intelligence (AI) is one of the promising areas in modern science and technology. In recent decades, systems have been created that are capable with the use of AI to perform complex tasks requiring intellectual skills [2; 3].

Modern AI is able to analyse the environment and interact with it, interpret and process data, learn and adapt itself while evolving. That is why the main task of the work is to prepare data for an objective assessment of the phenomenon under study.

AI is used in many areas, including computer vision, natural language processing, robotics, autonomous vehicles, medicine, financial analytics, etc. In each of these areas, AI makes it possible to automate processes, improve forecasts and make decisions based on large amounts of data and analysis of complex models.

The principles of AI are based on various approaches and methods for creating computer systems that can analyse data, learn and make decisions based on the information received. Machine learning methods, neural networks and deep learning are the main tools in achieving this goal.

In this paper, to predict the intensity of road traffic flow, the properties of the street-and-road network (SRN) are considered to be a classifier for categorising transport facilities, and weather conditions are assumed to be independent variables by which changes in the dependent will be predicted [4].

The work contains complex programming elements. The initial operations are explained, and for the rest of this kind, to reduce duplicating information, comments are omitted.

The working window of the PyCharm development environment has numbered lines. The commands are explained by referring to the line number of the provided screenshot of the workspace.

¹ ODM 218.4.005–2010. Industry road methodological document. Recommendations for ensuring road traffic safety on motorways.

RESULTS

Backpropagation Neural Network Architecture

To confirm the influence of weather conditions, road geometry and traffic characteristics on traffic flow intensity, as well as to test the predictive capabilities, a Backpropagation neural network was used².

A Backpropagation neural network is a type of neural network that uses the backward propagation of errors algorithm for training. The basic idea is that the network goes through two stages: forward propagation, where the input data is transferred from the input layer through the hidden layers to the output layer, and backpropagation, where the network weights are adjusted [5; 6].

The backward propagation of errors process begins with calculating the error at the output layer. This error is then propagated back through the layers of the network, proportional to the weights of the connections between neurons, and the error at each layer is calculated [8; 9]. Next, the neuron weights are adjusted in the direction opposite to the error gradient to reduce the error on subsequent passes through the network.

For the backpropagation algorithm, it is necessary to define the error function. It is measured by the difference between the expected values and the predicted ones. The mean squared error is the most common for regression problems and cross entropy for classification problems [10].

During training, the network goes through several epochs, where each epoch is one pass through the entire training set, i.e., all training examples [11; 12]. The network weights are adjusted in such a way as to minimise the error relative to the training data.

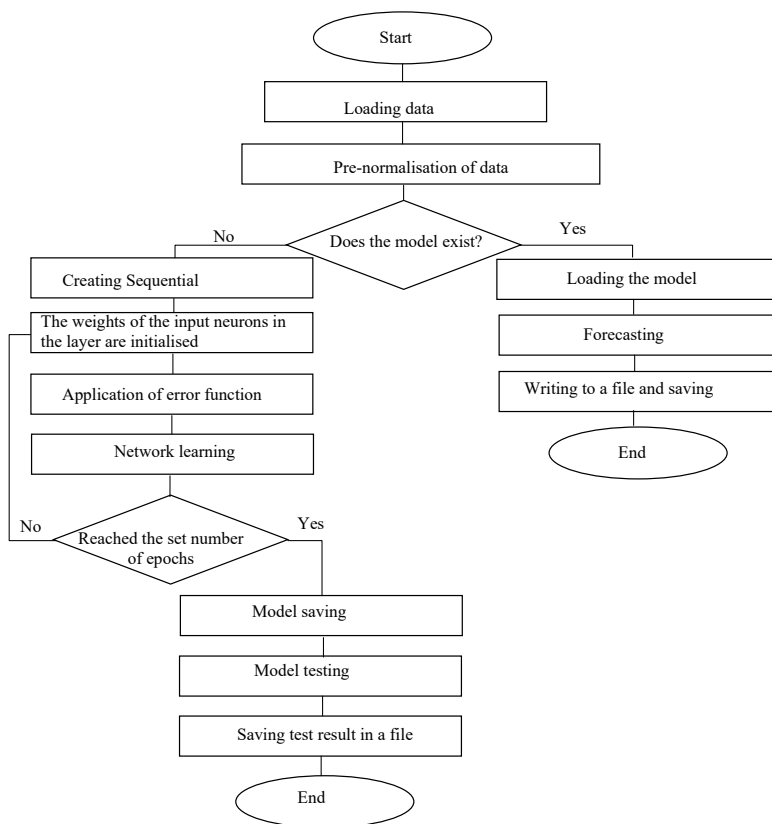
It was decided to form the architecture of the neural network in the Python programming language, using the Keras add-on of the low-level TensorFlow library [13].

Keras was developed to facilitate and speed up the process of developing deep learning models. It provides high-level abstractions for building neural networks, hiding most of the complexity and details of low-level libraries from the developer.

The architecture of a backpropagation neural network consists of several main components.

² Operation of motorways: Study guide. Comp. by: I. N. Pugachev, A. V. Kamenchukov, N. S. Nesterova. Khabarovsk, Publishing house of FESTU, 2022, 168 p.





Pic. 1. Block diagram of a backpropagation neural network [performed by the authors].

1. *Input layer* receives as input data that is fed to the input of the neural network. In this layer, the number of neurons corresponds to the dimensionality of the incoming data.

2. *Hidden layers* perform intermediate computational operations. Depending on the specific task or architecture of the neural network, the number of hidden layers and neurons in them changes. Each neuron in the hidden layer takes the activation values of the previous layer as input and calculates its activation value based on the weights that connect it to the previous layer.

3. *Output layer* performs a forecast. The number of neurons in the output layer depends on the classification or regression problem. For example, if a binary classification problem is being solved, then the output layer will have one neuron responsible for the probability of belonging to a class.

4. *Network activation function* is used for nonlinear transformation of the input data. The most common activation functions are sigmoid, tanh and ReLU.

5. *Backward propagation of errors* is an algorithm for updating the weights in a neural

network. It calculates the gradient of the error function over all the weights and uses it to update the weights to minimise the prediction error.

6. *Optimiser* applies an optimisation algorithm to update the weights in a neural network based on the error gradient. Some popular optimisers include stochastic gradient descent (SGD), Adam, and RMSprop.

7. *Loss function* determines how well the neural network performs on the task at hand. It calculates the difference between the predicted values and the true values and is used in backpropagation to calculate the gradient.

The main components of the backpropagation neural network architecture can be changed and modified depending on the specific task and requirements [14; 15].

The block diagram of the neural network is shown in Pic. 1.

Initially, the neural network structure was based on data analysis without preliminary processing and validation [16]. Testing the model after training showed the ineffectiveness of the forecast. This is due to the large number of

```

1 import os
2 import pandas as pd
3
4 df = pd.read_csv(os.getcwd() + '/dataset.csv', sep=";")
5 n = df.groupby('frontier') #Сортируем по рубежам
6 grp_idx = n.groups
7 for key in grp_idx.keys():
8     r = n.get_group(key)
9     #r.drop(columns=r.columns[0], axis=1, inplace=True) # убираем лишний столбец
10    #r.drop(columns=r.columns[16], axis=1, inplace=True) # убираем лишний столбец
11    r.to_csv(os.getcwd() + '/output/r/' + str(key) + '.csv', sep=";", encoding="utf-8-sig")

```

Pic. 2. *Explode_start* module. Sorting data by reference points and generating files [performed by the authors].

incoming neurons. Therefore, it was decided to group quantitative features. As a result, it was necessary to change the approaches to creating a neural network [17].

To implement the program according to the above algorithm, a virtual environment was created in the PyCharm integrated development environment. This had to be done primarily for more convenient management of project dependencies, and to make the development process more convenient and focused.

The created virtual environment contains modules (files with the extension «py»). They are used to manage project dependencies, create an isolated development environment, and to work with different versions of packages and libraries.

The project consists of three stages:

1. Data generation.
2. Data validation.
3. Model learning.

Data Generation

The statistical data were imported into the project's virtual environment directory in the *csv* file format. This extension is used for convenience of storing data (in text form) so that it is easy to process and transfer it [18].

To study the influence of weather, natural conditions and road geometry on the intensity of road traffic flow, 562612 hours with different characteristics from 107 reference points were collected and grouped. Preliminary processing of the entire array of data showed poor results for the influence of independent features on the dependent one. Explaining this by the insufficient list of analysed factors, it was decided to analyse each reference point separately, with the prospect of creating not one, but 107 models for forecasting. Thus, the influence of unaccounted static independent variables was to be excluded

[19; 20].

To achieve the above goal, considering the rules for processing by a neural network of a single file with all the data, it was necessary to form 107 files with the *csv* extension. In each of them, the data of a specific boundary.

To sort the general population by reference points with subsequent formation of files, the *explode_start.py* algorithm (Pic. 2), located in the root of the application, was created and launched.

In the *explode_start* module, the operating system functions were imported – *OS* (*import os*) to ensure reading of files and the *pandas* library (*import pandas as pd*) to work with the data (Pic. 2). Additionally, an *alias* is applied to the library (renaming for easy access to the library), simplifying its name to *pd*.

In the fourth line, the program «reads» the file, the a semicolon separator type was additionally specified.

In the fifth line, grouping is done by reference points.

In the sixth line, the program receives a list of reference points.

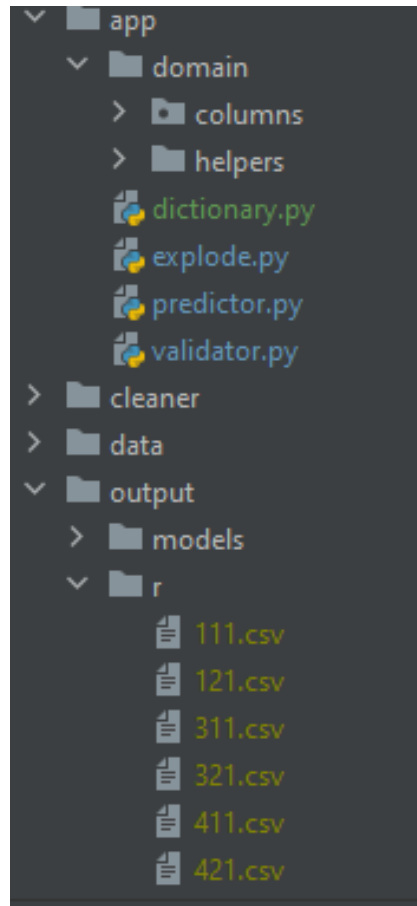
From the seventh line, the program cyclically alternately searches reference points and saves them in separate files, writing their number in the file name.

After executing the *explode_start* script and following the dynamic route *'/output/r/'* (Pic. 2), files with data appear in the *r* directory (Pic. 3).

Data Preparation

After forming files with reference points, to eliminate errors during training, it is necessary to prepare the data, which will include checking for missing values in a position (warn the operator, replace with 0, delete the entire line, etc.) and for the range of acceptable values, validation, etc. [21].





Pic. 3. Generated files with reference points in the project's virtual environment directory [performed by the authors].

To prepare the data, the *validate_start* algorithm was created and launched (Pic. 4).

The command «*from app.validator import start as validate*» imports the validation function «*start*» from the «*validator*» module of the «*app*» directory (Pic. 5).

In the *validate_start* algorithm cycle (Pic. 4), the program gets a list of files from the */output/r* directory, going through them one by

one. In the sixth line, the file name is separated by a period separator. As a result, an array of two parts is obtained. The first part (zero) is the file name, the second part (one) is the extension. Only the file name is considered in this function.

In the eighth line, using the *start* function (renamed to *predict*), validation is launched from the *validator* module (Pic. 5).

```

1  import os
2
3  from app.validator import start as validate
4
5  for file in os.listdir(os.getcwd() + '/output/r'):
6      split = os.path.splitext(file)
7      filename = split[0]
8      validate(True, filename)

```

Pic. 4. *Validate_start* script [performed by the authors].

```

import os
from app.domain.columns import names_input
from app.domain.columns import names_output
from app.domain.columns import validators as get_validators
from app.domain.helpers import logger

import pandas as pd

@NSheshera *
def start(need_train, filename):
    # 1-й шаг - ГОТОВИМ ДАННЫЕ
    data = pd.read_csv(os.getcwd() + '/output/r/' + filename + '.csv', sep=';')
    validators = get_validators()
    new_array = dict()
    for data_name, data_values in data.items():
        if data_name in validators:
            l = validators[data_name]
            s = data_values
            encoded = list(map(l, s))
            new_array[data_name] = encoded
            logger.success(' ' + str(data_name) + ' ' + ' validated success!')
    df = pd.DataFrame(new_array)
    if need_train:
        d = names_input() + names_output()
    else:
        d = names_input()
    df.to_csv(os.getcwd() + '/output/validated/' + filename + '.csv', sep=";",
              columns=d, encoding='utf-8-sig')

```

Pic. 5. The start validation function from the validator module in the app directory [performed by the authors].

```

226 # Колонки names_input которые использовать в анализе данных
    5 usages @NSheshera
227 def names_input():
228     return _columns_inputs
    2 usages @NSheshera
229 def names_output():
230     return _columns_outputs
231 # Получить список колонка-валидатор
    @NSheshera *
232 def validators():
233     return dict(zip(_columns_inputs+_columns_outputs,
234                    _validators_input+_validators_output))

```

Pic. 6. Method names_input of the module _init_ [performed by the authors].

When executing the algorithm of the *validator* module program, auxiliary functions and variables are imported from the *columns* directory (*app/domain/columns*) and the *logger* module is imported from the *helpers* directory (*app/domain/*

helpers). The task of the *logger* module is to change the font colour of the message that is output to the console (the design details are not important for the purpose of the work, so the details of the algorithm of this module are omitted).




```

124 # Колонки по порядку
125 _columns_inputs = [
126     WEEK_COLUMN_NAME, # День недели
127     TIME_COLUMN_NAME, # Время суток
128     T_AIR_COLUMN_NAME, # Температура воздуха
129     T_SOIL_COLUMN_NAME, # Температура почвы
130     T_DEW_COLUMN_NAME, # Температура точки росы
131     PRESSURE_COLUMN_NAME, # Парциальное давление водяного пара (ps), Па
132     F_PERCENT_COLUMN_NAME, # Относительная влажность воздуха (ф), %
133     VISIBILITY_CIPHER_COLUMN_NAME, # Видимость, миль (VV)
134     SATURATION_DEFICIT_COLUMN_NAME, # Дефицит насыщения (d), г/м³
135     P_LEVEL_STATION_COLUMN_NAME, # Атмосферное давление на уровне станции (P-станция), г.Па
136     P_SEA_LEVEL_COLUMN_NAME, # Атмосферное давление на уровне моря (P-море), г.Па
137     WEATHER_CODE_SW_COLUMN_NAME, # Погода, миль (sw)
138     DIRECTION_WIND_COLUMN_NAME, # Направление ветра, градусы
139     WIND_SPEED_COLUMN_NAME, # Скорость ветра, м/с
140     PRECIPITATION_COLUMN_NAME, # Осадки, мм
141     DAYLIGHT_COLUMN_NAME, # Естественное освещение...
142 ]
143
144 _columns_outputs = [INTENSIVE_COLUMN_NAME]

```

Pic. 7. List of column names of input and output parameters in the `_init_` module [performed by the authors].

```

174 # Валидаторы по порядку
175 _validators_input = [
176     week_validator, # День недели
177     time_validator, # Время суток
178     t_air_validator, # Температура воздуха
179     t_soil_validator, # Температура почвы
180     t_dew_validator, # Температура точки росы
181     pressure_validator, # Парциальное давление водяного пара (ps), Па
182     f_percent_validator, # Относительная влажность воздуха (ф), %
183     visibility_cipher_validator, # Видимость, миль (VV)
184     saturation_deficit_validator, # Дефицит насыщения (d), г/м³
185     p_level_station_validator, # Атмосферное давление на уровне станции (P-станция), г.Па
186     p_sea_level_validator, # Атмосферное давление на уровне моря (P-море), г.Па
187     weather_code_sw_validator, # Погода, миль (sw)
188     direction_wind_validator, # Направление ветра, градусы
189     wind_speed_validator, # Скорость ветра, м/с
190     precipitation_validator, # Осадки, мм
191     daylight_validator, # Естественное освещение...
192 ]
193
194 _validators_output = [intensive_validator]

```

Pic. 8. List of column names of input and output parameters in the `_init_` module [performed by the authors].

Considering that *columns* is a directory and not an executable file, the `_init_` module is initialised in it by default. Accordingly, line 2 (Pic. 5) imports the *names_input* and *names_output* methods from the `_init_` module into the *validator* module – this is encapsulation, one of the principles of object-oriented programming, hiding the implementation to ensure the possibility of introducing additional logic into the formation of *names_input* and *names_output* (a list of column names of input parameters that are used in the data header) (Pics. 6, 7).

The *validators* method in the `_init_` module returns a list of all validators, which are within two constants that are data arrays (Pic. 8):

1. *columns_inputs* + *columns_outputs*;
2. *validators_input* + *validators_output*.

After data processing, these arrays are concatenated and a correspondence is established between the column name and its validator. This

means that the order of the validator in the constant – *validators_input* must correspond to the order of its column.

Each column from the lists of columns (*_columns_inputs*, *_columns_outputs*, *_validators_input*, *_validators_output*) is described in the columns directory and processed in the `_init_` module using the methods shown in Pic. 4. To ensure this, the modules and methods for data validation were imported into the `_init_` module using the command *from app.domain.columns*:

1. Day of the week:
 - week_day import validate as week_validator;
 - week_day import COLUMN_NAME as WEEK_COLUMN_NAME.
2. Time of the day:
 - time import COLUMN_NAME as TIME_COLUMN_NAME;
 - time import validate as time_validator

```

1  import portion as P
2  from app.domain.helpers import types
3  COLUMN_NAME = 'humidity' # Относительная влажность воздуха (φ), %;
   NSheshera
4  def validate(value):
5      r1 = P.closed(-100, 110)
6      types.is_float(value, "FPercentValidator")
7      types.in_range(value, r1, "FPercentValidator")
8  return value

```

Fig. 9. Structure of the error control module of the *f_percent* module [performed by the authors].

3. Road traffic intensity:
 - intensity import COLUMN_NAME as INTENSIVE_COLUMN_NAME;
 - intensity import validate as intensive_validator.
 4. Air temperature:
 - t_air import COLUMN_NAME as T_AIR_COLUMN_NAME;
 - t_air import validate as t_air_validator.
 5. Soil temperature:
 - t_soil import COLUMN_NAME as T_SOIL_COLUMN_NAME;
 - t_soil import validate as t_soil_validator.
 6. Dew point temperature:
 - t_dew import COLUMN_NAME as T_DEW_COLUMN_NAME;
 - t_dew import validate as t_dew_validator.
 7. Partial pressure of water vapor (ps), Pa:
 - pressure import COLUMN_NAME as PRESSURE_COLUMN_NAME;
 - columns.pressure import validate as pressure_validator.
 8. Relative humidity (ϕ), %:
 - f_percent import COLUMN_NAME as F_PERCENT_COLUMN_NAME;
 - f_percent import validate as f_percent_validator.
 9. Visibility, cipher (VV):
 - from app.domain.columns.visibility_cipher import COLUMN_NAME as VISIBILITY_CIPHER_COLUMN_NAME;
 - visibility_cipher import validate as visibility_cipher_validator.
 10. Saturation deficit (d), g/m^3 :
 - columns.saturation_deficit import COLUMN_NAME as SATURATION_DEFICIT_COLUMN_NAME;
 - saturation_deficit import validate as saturation_deficit_validator.
 11. Atmospheric pressure at the station level (P station), g.Pa
 - p_level_station import COLUMN_NAME as P_LEVEL_STARION_COLUMN_NAME;
 - p_level_station import validate as p_level_station_validator.
 12. Atmospheric pressure at the sea level (P sea), g.Pa:
 - p_sea_level import COLUMN_NAME as P_SEA_LEVEL_COLUMN_NAME;
 - p_sea_level import validate as p_sea_level_validator.
 13. Weather, cipher (ww):
 - weather_code_ww import COLUMN_NAME as WEATHER_CODE_WW_COLUMN_NAME;
 - weather_code_ww import validate as weather_code_ww_validator.
 14. Wind direction, degrees:
 - direction_wind import COLUMN_NAME as DIRECTION_WIND_COLUMN_NAME;
 - direction_wind import validate as direction_wind_validator.
 15. Wind speed, m/s:
 - wind_speed import COLUMN_NAME as WIND_SPEED_COLUMN_NAME;
 - wind_speed import validate as wind_speed_validator.
 16. Precipitation, mm:
 - precipitation import COLUMN_NAME as PRECIPITATION_COLUMN_NAME;
 - precipitation import validate as precipitation_validator.
 17. Natural light:
 - daylight import COLUMN_NAME as DAYLIGHT_COLUMN_NAME;
 - daylight import validate as daylight_validator.
- In the ninth line, the *start* function of the validator module of the *app/domain/columns* directory reads the *csv* file (Pic. 5). The path to the file is formed according to the template line (*os.getcwd() + '/output/r/'*).
- The *filename* variable is the name of the file, it is passed as an argument to this function, and *need_train* is an indicator that validation is performed at the model training level or at the



forecasting level (Pic. 5). The fact is that validation is used both at the model training stage and at the forecasting stage.

Using validators in the *start* function of the validator module (Pic. 5), new verified data is formed, which is written to the directory – *output/validated*.

The structure of the module itself, reflecting information about the column using the example of the variable – «Relative air humidity» is shown in Pic. 9.

Line 2 imports *helpers*, which denotes custom project functions for checking the types of the csv table column value.

The constant *COLUMN_NAME* in the fourth line binds the name of the column header. In this case, it is «humidity».

From the fifth to the eighth lines, the *validate* function checks the values for compliance with the established requirements, otherwise the program reports an error. In this specific example (Pic. 9), the values in the humidity column should not be lower than 100 or higher than 110. Other values will be considered an error.

The rules for data control in the Python programming language for csv file columns at the preparation stage are given below.

Natural light, daylight module

```
import math
import app.domain.helpers.utils as f
COLUMN_NAME = 'daylight' #Natural light
def validate(value):
if 0.5 < value < 1:
value = float(f.toFixed(value, 2))
types.in_range(value, [0, 0.5, 0.85, 1],
«Daylight_Validator»)
return value
```

Wind direction, degrees, direction_wind module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types COLUMN_NAME
= 'wind_direction' #Wind direction, degrees
def validate(value):
r1 = P.closed(0, 360)
types.is_float(value, «direction_windValidator»)
types.in_range(value, r1, «direction_windValidator»)
return value
```

Relative humidity, f_percent module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'humidity' # Relative humidity (φ),
%;
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 110)
types.is_float(value, «FPercentValidator»)
types.in_range(value, r1, «FPercentValidator»)
return value
```

Traffic flow intensity, intensity module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'intensity' # Intensity
def validate(value):
r1 = P.closed(0, float('inf'))
types.is_int(value, «IntensityValidator»)
types.in_range(value, r1, «IntensityValidator»)
return value
```

Atmospheric pressure at the station level, p_level_station module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'pressure_station' # Atmospheric
pressure at the station level (P station), g.Pa
def validate(value):
r1 = P.closed(900, 1100)
types.is_float(value, «p_level_stationValidator»)
types.in_range(value, r1, «p_level_stationValidator»)
return value
```

Atmospheric pressure at the sea level, p_sea_level module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'pressure_sea' # Atmospheric
pressure at the sea level (P sea), g.Pa
def validate(value):
r1 = P.closed(900, 1100)
types.is_float(value, «p_sea_levelValidator»)
types.in_range(value, r1, «p_sea_levelValidator»)
return value
```

Precipitation, precipitation module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'precipitation' # Precipitation, mm
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = float(0)
r1 = P.closed(0, 100)
types.is_float(value, «Precipitation_Validator»)
types.in_range(value, r1, «Precipitation_Validator»)
return value
```

Partial pressure of water vapour, pressure module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'partial_pressure' # Partial pressure
of water vapor (ps), Pa
def validate(value):
r1 = P.closed(0, float('inf'))
types.is_float(value, «PressureValidator»)
types.in_range(value, r1, «PressureValidator»)
return value
```

Saturation deficit, saturation_deficit module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'saturation_deficit' # Saturation
deficit (d), g/m³
def validate(value):
r1 = P.closed(0, 40)
```

Table 1

Fragment of data from model assessment using test loss and test acc methods before and after excluding anomalies from the traffic flow intensity indicator [compiled by the authors]

Reference point	With anomalies		Without anomalies	
	test loss	test acc	test loss	test acc
1011	0.21	0.44	0.36	0.69
1021	0.26	0.38	0.30	0.67
1031	0.25	0.31	0.62	0.52
111	0.52	0.26	0.89	0.43
1111	0.42	0.24	0.74	0.20
1121	0.25	0.35	0.33	0.65
1131	0.23	0.40	0.32	0.62
1141	0.25	0.47	0.40	0.60

```
types.is_float(value, «SaturationValidator»)
types.in_range(value, r1, «SaturationValidator»)
return value
```

Air temperature (t air), t_air module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_air' # Air temperature (t air), C°
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 100)
types.is_float(value, «TAirValidator»)
types.in_range(value, r1, «TAirValidator»)
return value
```

Dew point (DP) temperature, t_dew module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_dew_point' # Dew point
temperature (DP), C°
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 100)
types.is_float(value, «TDewValidator»)
types.in_range(value, r1, «TDewValidator»)
return value
```

Soil temperature (t soil), t_soil module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 't_soil' # Soil temperature (t soil), C°
def validate(value):
r1 = P.closed(-100, 100)
types.is_float(value, «TSoilValidator»)
types.in_range(value, r1, «TSoilValidator»)
return value
```

Time of the day, time module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'day_time' # Time of the day
def validate(value):
r1 = P.closed(0, 23)
types.is_int(value, «TimeValidator»)
types.in_range(value, r1, «TimeValidator»)
return value
```

Visibility, cipher (VV), visibility_cipher module

```
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'visibility_VV' # Visibility, cipher (VV);
```

```
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = 0
types.is_int(int(value), «VisibilityValidator»)
types.in_range(value, [90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98,
99, 0], «VisibilityValidator»)
return value
```

Weather, cipher (ww), weather_code_ww module

```
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'weather_WW' # Weather, cipher
(ww)
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = 0
types.is_int(int(value), «Weather_code_ww_Validator»)
types.in_range(value, [0, 1, 2, 3, ... 99], «Weather_code_
ww_Validator»)
return value
```

Day of the week, week_day module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
COLUMN_NAME = 'week_day' # Day of the week
def validate(value):
r1 = P.closed(1, 7)
types.is_int(value, «WeekValidator»)
types.in_range(value, r1, «WeekValidator»)
return value
```

Wind speed, wind_speed module

```
import portion as P
from app.domain.helpers import types
import math
COLUMN_NAME = 'wind_speed' # Wind speed, m/s
def validate(value):
if math.isnan(value):
value = float(0)
r1 = P.closed(0, 40)
types.is_float(value, «Wind_speedValidator»)
types.in_range(value, r1, «Wind_speedValidator»)
return value
```

Outliers Removal Using the Isolation Forest Method

Looking ahead, it should be noted that the decision to clean the data from outliers was



```

1 import os
2 import pandas as pd
3 from sklearn.ensemble import IsolationForest
4
5 """@author: Denis Grigorov"""
6
7 def cleaner(filename):
8     data_frame = pd.read_csv(os.getcwd() + '/../output/validated/' + filename + ".csv", delimiter=';') # import pandas table
9     data_frame.drop(columns=data_frame.columns[0], axis=1, inplace=True) # y-column removed created
10    # data_frame.info()
11    """@author: Denis Grigorov"""
12    model = IsolationForest(n_estimators=50, max_samples='auto', contamination=float(0.1), max_features=1.0)
13    model.fit(data_frame[['intensity']])
14    data_frame['score_intensity'] = model.decision_function(data_frame[['intensity']])
15    data_frame['anomaly_intensity'] = model.predict(data_frame[['intensity']])
16    return data_frame
17
18 for file in os.listdir(os.getcwd() + '/../output/validated/'):
19     split = os.path.splitext(file)
20     filename = split[0]
21     print(filename)
22     data_frame = cleaner(filename+filename)
23     data_frame.to_csv(os.getcwd() + '/../output/validated/' + filename + ".csv", delimiter=';', encoding='utf-8-sig')

```

Pic. 10. Cleaning traffic flow data using the isolation forest method [performed by the authors].

a consequence of the low accuracy of the test data forecast (Table 1).

Test loss and test acc are metrics used to evaluate the performance of a machine learning model on test data.

Test loss is a measure of the error, or difference between the predicted values and the actual values on the test data. Test loss is usually calculated using some loss function (such as Mean Squared Error or Cross-Entropy Loss) and shows how well the model does at predicting the correct values on the test data. The lower is the test loss, the better is the model's performance.

Test accuracy is the percentage of correct predictions by the model on the test data. It shows how well the model classifies the correct classes on the test data. Test accuracy is calculated by comparing the predicted values with the actual class labels and calculating the proportion of correct answers. The higher is the test accuracy, the better is the model's performance.

Both test loss and test accuracy are used to assess the performance of a model on data that was not used for learning. They make it possible to check how well the model generalises knowledge and is able to predict the correct values on new data.

All factors were checked for anomalies, but only the traffic flow intensity showed significant contamination of the data with random outliers. These are consequences of road traffic accidents, maintenance of road itself or of adjacent structures with temporary restraints of traffic, either of a breakdown of the recording device, etc.

The Isolation Forest method turned to be the best choice for finding anomalies because the traffic flow metric does not have a clearly defined normal distribution.

Isolation Forest is a machine learning algorithm for detecting anomalies in data. Unlike other algorithms, such as clustering or density, Isolation Forest uses decision trees to find anomalies.

The basic idea behind Isolation Forest is that anomalies in data tend to have fewer connections and shorter distances to other features. The algorithm builds multiple decision trees by randomly selecting features and splitting the data at each step. It then estimates how quickly an anomaly can be isolated in these trees.

When learning an isolation forest:

1. The maximum tree depth and maximum number of splits are specified.
2. The data is split into random subsamples and a decision tree is built for each subsample.
3. Each decision tree splits the data into two parts by choosing a random feature and a random split.
4. Steps 2–3 are repeated until the maximum depth or number of splits is reached.
5. At the end of learning and for a new feature, the validation score is used to determine anomaly.

When using isolation forest for anomaly detection:

1. A «path» in the tree is computed for each feature, representing the number of splits needed to isolate the feature.
2. The average path length is computed for all features and used to determine anomalies. Features with shorter paths are usually considered more anomalous.

Advantages of using isolation forest:

1. It can be well scaled to handle large amounts of data.
2. It is powerful and efficient in detecting anomalies.

3. It does not require preliminary data preparation, as it is insensitive to outliers and multicollinearity.

The existing method of implementing the random forest method in the Python programming language requires certain versions of special libraries of the program itself, which are not compatible with this project, so an additional virtual environment with the key module *clean_start* was created in the PyCharm development environment (Pic. 10).

When the *clean_start* module is launched, the isolation forest method of the *sklearn* library ensemble add-in is imported in the third line. A cyclic function is launched for each reference point from the */output/validated* directory and the *cleaner* function is processed (Pic. 10), where:

- Data is loaded in the sixth line.
- The first index column is deleted in the seventh line.
- The model is formed, and parameters are set in the tenth line.
- Data on traffic flow intensity is transferred to the model in the eleventh line.
- Anomalies are identified and marked in lines 12–13. Two additional columns are created. One reflects the scores of values (*scores_intensity*), the second (*anomaly_intensity*) marks all anomalous values with the number «-1» and normal values with «1» according to the scores.

At the end of each cycle, the transformed data is written back to the */output/validated* directory.

To eliminate anomalies, before learning, the data was sorted by the value «1» of the column *anomaly_intensity*, using the command *data_frame = data_frame.loc[data_frame['anomaly_intensity'] == 1]*.

CONCLUSION

Preliminary data transformation in order to prepare it for processing by machine learning methods is an important component of achieving the accuracy of the obtained results, objective comparison of features and identification of dependencies.

The use of information and analytical resources of large cities is becoming promising for the analysis of road traffic flow intensity. For this purpose, the study has used the algorithmic tools based on the obtained theoretical results and software prototypes of their main components, methods and algorithms for predictive analytics of the Python programming language, and the PyCharm development environment.

Further implementation of the research results is aimed at building a deep learning neural network, model learning and forecasting, therefore, pre-processing is an important component of the program logic, and allows improving data quality, simplifying the model and making learning more effective.

Due to the high dynamism of road traffic flow intensity and a large number of unstable parameters affecting it, unpredictable (anomalous) values are observed, which include accidents, construction work, failures of recording equipment, etc. To exclude them, preliminary data processing was followed by processing the data by the Isolation Forest method.

The Isolation Forest was used to find anomalies by constructing an ensemble of isolated trees, in each of which partitions were randomly selected by random features and data points for constructing the tree. Then, anomalies were eliminated by reducing the height of anomalous points in the tree.

This work became a platform for training models on the dependence of traffic flow intensity on weather and climate characteristics and road network factors using the deep learning method. Table 1 demonstrates the quality of the neural network model before and after data processing, including with the Isolation Forest method. The research results have been tested and scientifically weighed, indicating an increase in the quality of the predictive model on test data.

The work is deemed to be relevant from theoretical and practical points of view, and already has application examples that will be published in future works.

REFERENCES

1. Babkov, V. F. Road conditions and traffic safety [*Dorozhnie usloviya i bezopasnost dvizheniya*]. Moscow, Transport publ., 1993, 271 p. ISBN 5-277-01402-0.
2. Pavlyuk, D. Robust and Responsive Learning of Spatiotemporal Urban Traffic Flow Relationships. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2022, Vol. 23, Iss. 9, pp. 14524–14541. DOI: 10.1109/TITS.2021.3130146.
3. Oktarina, Yu., Sastiani, D. Z., Dewi, T. Simulation Design of Artificial Intelligence Controlled Goods Transport Robot. *Computer Engineering and Applications Journal*, 2022, Vol. 11, Iss. 2, pp. 155–165. DOI: 10.18495/COMENGAPP.V11I2.411.
4. Pugachev, I. N., Shcheglov, V. I. Implementation of programs for integrated development of transport infrastructures of agglomerations and neighbouring entities of the Russian Federation based on creation of an information system [*Realizatsiya program kompleksnogo razvitiya*



transportnykh infrastruktur aglomeratsii i sosedstvuyushchikh subektov Rossiiskoi Federatsii na osnove sozdaniya informatsionnoi sistemy]. *Transport and service*, 2021, Iss. 9, pp. 7–16. EDN: AMDQXT.

5. Lugbade, S., Ojo, S., Imoize, A. L., Isabona, J., Alaba, M. O. A Review of Artificial Intelligence and Machine Learning for Incident Detectors in Road Transport Systems. *Mathematical and Computational Applications*, 2022, Vol. 27, Iss 5, 77. DOI: 10.3390/mca27050077.

6. Moskvitin, V. M., Semenova, N. I. Noise influence on recurrent neural network with nonlinear neurons. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2023, Vol. 31, Iss. 4, pp. 484–500. DOI: <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003052>.

7. Pugachev, I. N., Tormozov, V. S. Development of a new method for detection and classification of vehicles using satellite images [Razrabotka novogo metoda detektirovaniya i klassifikatsiya transportnykh sredstv po sputnikovym izobrazheniyam]. *Dorogi i mosty*, 2023, Iss. 49–1, pp. 199–221. [Electronic resource]: <https://rosdormii.ru/upload/iblock/de5/4m83hrrtm29nzydknu9vg4rse3q7me/11.-Pugachev-Razrabotka-novogo-metoda.pdf>. Last accessed 29.12.2023.

8. Pugachev, I. N., Skripko, P. B., Sheshera, N. G. A software approach to the integrated collection and preparation of data on vehicle traffic intensity, weather conditions and natural light in hourly intervals [Programmiy podkhod k kompleksnomu sboru i podgotovki dannykh ob intensivnosti dvizheniya transportnykh sredstv, pogodnykh usloviy i estestvennoi osveshchennosti v chasovykh intervalakh]. *T-Comm: Telecommunications and transport*, 2023, Vol. 17, Iss. 10, pp. 43–51. DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-10-43-51.

9. Kopp, T., Weitemeyer, R., Beyer, J., Ziegler, D., Hess, R. Entscheidungsunterstützung in Leitstellen des Personennahverkehrs – Technische und sozio-technische Herausforderungen [Artificial Intelligence for Decision Support in Local Public Transport Control Centers– Technical and Socio-technical Challenges]. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 2023, Vol. 60, Iss. 6, pp. 1156–1173. DOI: <https://doi.org/10.1365/s40702-023-00996-8>.

10. Pugachev, I. N., Sheshera, N. G. Application of statistical analysis methods for assessing the parameters of traffic flows and characteristics of the street and road network [Primenenie metodov statisticheskogo analiza dlya otsenki parametrov transportnykh potokov i kharakteristik ulichno-dorozhnoi seti]. *Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. Khabarovsk, RIO DVUI MVD of Russia, 2020, 108 p. ISBN 978-5-9753-0313-4.

11. Chernih, V. S., Zhikharev, A. G., Fedoseev, A. D., Marton, N. A. Comparison of efficiency of different methods of training neural networks. *Research Result Information Technologies*, 2023, Vol. 8, Iss. 1, pp. 83–93. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-8-1-0-8.

12. Mikhalev, O. N., Yanyushkin, A. S. Automation of technological processes based on neural network [Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na osnove

neironnoi seti]. *Automation. Modern technologies*, 2022, Vol. 76, Iss. 4, pp. 147–152. EDN: DIEMHO.

13. Nguyen, H. T., Nguyen, L. T., Afanasiev, A. D., Pham, L. T. Classification of Road Pavement Defects Based on Convolution Neural Network in Keras. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2022, Vol. 56, Iss. 1, pp. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411622010084>.

14. Sokerin, D. D. Introduction to Artificial Neural Networks [Vvedenie v iskusstvennie neironnie seti]. *Information and Education: The Frontiers of Communication*, 2023, Iss. 15 (23), pp. 284–286. EDN: WKHNMZ.

15. Pugachev, I. N., Sheshera, N. G., Shcheglov, V. I. Analysis of geometric elements of roads when assessing their accident rate by means of modern geoinformational systems. *Bulletin of civil engineers*, 2021, Iss. 3 (86), pp. 127–133. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-127-133.

16. Arrykova, G. K., Ezizova, S. E., Garayev, G. B., Khodzhakaeva, D. M. Artificial intelligence and neural networks: modern technologies in solving key problems [Iskusstvennyi intellekt i neironnie seti: sovremennye tekhnologii v reshenii klyuchevykh problem]. *Ceteris Paribus*, 2023, Iss. 12, pp. 16–18. [Electronic resource]: <https://sciartel.ru/arhiv-journal/CP-2023-12.pdf?ysclid=m06mw02bpt288436451> [full text of the issue]. Last accessed 29.12.2023.

17. Shashev, D. V., Shatravin, V. V. Implementation of the sigmoid activation function using the concept of reconfigurable computing environments [Realizatsiya sigmoidnoi funktsii aktivatsii s pomoshchyu kontseptsii perestraivaemykh vychislitelnykh sred]. *Bulletin of Tomsk State University. Management, Computer Science and Information Technology*, 2022, Iss. 61, pp. 117–127. EDN: PDIJZM.

18. Dulesov, A. S., Baishev, A. V., Karandeev, D. Yu., Dulesova, N. V., Karandeeva, I. Yu. Preliminary processing of statistical data on the state of homogeneous technical objects [Predvaritel'naya obrabotka statisticheskikh dannykh o sostoyanii odnorodnykh tekhnicheskikh obektov]. *Scientific and Technical Bulletin of Volga Region*, 2023, Iss. 4, pp. 80–83. EDN: EFIDGU.

19. Rezova, N. L., Kazakovtsev, L. A., Shkaberina, G. Sh., Tsepikova, M. I. Preliminary data processing for analysing the behaviour of complex systems [Predvaritel'naya obrabotka dannykh dlya analiza povedeniya slozhnykh sistem]. *Control Systems and Information Technologies*, 2022, Iss. 2 (88), pp. 40–45. EDN: BYGESB.

20. Akimov, A. A., Vitlov, D. R., Kubryak, A. I. Preliminary data processing for machine learning [Predvaritel'naya obrabotka dannykh dlya mashinnogo obucheniya]. *Scientific review. Technical sciences*, 2022, Iss. 2, pp. 26–31. EDN: GWGJSK.

21. Bezmenov, I. V. Method of cleaning measurement data from outliers: search for an optimal solution with a minimum number of rejected measurement results [Metod ochkistki izmeritelnykh dannykh ot vybrosov: poisk optimalnogo resheniya s minimalnym kolichestvom otrakovanykh rezultatov izmerenii]. *Measuring equipment*, 2023, Iss. 1, pp. 16–23. EDN: KISWIN.

Information about the authors:

Pugachev, Igor N., D.Sc. (Eng), Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work of Khabarovsk Federal Research Centre of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (KhFRC FEB RAS), Khabarovsk, Russia, ipugachev64@mail.ru.

Sheshera, Nikolay G., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Information and Technical Support of Internal Affairs Bodies of Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Khabarovsk, Russia, kolyaka239@mail.ru.

Grigorov, Denis E., Head of the Office of Special Disciplines of the Department of Information and Technical Support of Internal Affairs Bodies of Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Khabarovsk, Russia, glowfisch8lan@gmail.com.

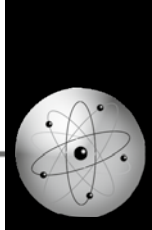
Article received 29.12.2023, approved 24.04.2024, accepted 15.05.2024.



MOTORWAYS 178, 184

Monitoring of the condition of the road surface. Comparison of modern techniques. Application of AI.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-3>World of Transport and Transportation, 2024,
Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 170–177

Technical Regulation and Monitoring of Subgrade Construction in the Arctic



Taisiya V. SHEPITKO



Svyatoslav Ya. LUTSKY



Igor A. ARTYUSHENKO

Taisiya V. Shepitko¹, Svyatoslav Ya. Lutsky², Igor A. Artyushenko³^{1,2,3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.¹ ORCID 0000-0002-4785-1625; Scopus Author ID: 57200189585; Russian Science Citation Index SPIN-code: 6980-7287.² Russian Science Citation Index SPIN-code: 2475-5149.³ ORCID 0000-0002-7749-9626; Web of Science Researcher ID: AAT-5175-2020; Scopus Author ID: 57214076962; Russian Science Citation Index SPIN-code: 5178-3827.✉ ³ tywka351@mail.ru.

ABSTRACT

The study outlines the technology for increasing the bearing capacity of the subgrade foundation on high-temperature permafrost soils in the Arctic zone with the objective to develop technological regimes for strengthening the weak foundation of embankments, allowing for regulation of loads during construction of facilities on permafrost soils. The research methods included system analysis and the methods specific for organising construction in the permafrost zone. The described methodology consists of step-by-step modelling and calculation of parameters for geotechnical monitoring of the condition of the subgrade to determine the maximum permissible technological loads.

The tasks and functions of the system for regulating and monitoring technological operations are determined to specifically increase the strength characteristics of weak foundations during the construction period. The main factors influencing functioning of

a new natural-technical complex during construction on permafrost have been established, namely changes in the temperature field, loads of construction machines and physical and mechanical characteristics of soils. The study highlights feasibility of organising comprehensive assessments and mutual control of soil deformability using geotechnical monitoring and automated process control systems for machines and construction equipment. The technological regime for deep strengthening of weak foundations of geotechnical objects should include regulation of the parameters of construction loads and quality control of processes during vibration compaction of the upper zone and construction of a pile field. The article outlines the features of the experimental application of the complex technology to ensure the design bearing capacity of soils during reconstruction and construction of sections of the Northern Latitudinal Railway and Obskaya – Bovanenkovo railway.

Keywords: permafrost soils, subgrade, regulation, monitoring, bearing capacity, stability, technology.

Acknowledgments: the study was conducted within the framework of a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the form of a subsidy for implementation of a large scientific project in the priority area of scientific and technological development, agreement No. 075-15-2024-559 dated April 24, 2024.

For citation: Shepitko, T. V., Lutsky, S. Ya., Artyushenko, I. A. Technical Regulation and Monitoring of Subgrade Construction in the Arctic. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 170–177. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-3>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The relevance of construction and reconstruction of transportation routes in the permafrost zone corresponds to the Strategy for development of the Arctic zone and ensuring national security for the period until 2035¹ and the main directions of socio-economic development of the Arctic. The authors of this article outlined in [1] the features of implementation of the Strategy.

The construction of geotechnical structures for transport infrastructure, especially subgrade on permafrost, is associated with the risk of their deformation and loss of strength not only during their operations, but also during the construction period. The experience of technological calculations and preparation of materials (regulations, maps and work plans) for work documentation for construction of sections of Tommot – Yakutsk, Bovanenkovo – Karskaya lines has shown the need to consider the risks of the state of incomplete main and protective structures. Already at the preparatory stage, the moss-turf cover is disturbed, surface water flows change, and in the main period, during distribution and movement of earth masses, the lithology of the massifs radically changes. This construction specificity is not fully considered in the standards and fundamental works of scientists on soil mechanics and subgrade [2–4]. At the same time, the Technical Regulations² indicate the need to ensure the strength and safety of buildings and structures at the design, construction and operational stages. The importance of managing the condition of objects throughout the entire life cycle is noted in the works [5; 6] and has been proven by construction practices [1]. When reconstructing the subgrade, one should additionally take into account the significant heterogeneity of the operations and the danger of degradation of the right-of-way³.

The experience of technological design for development of transport infrastructure in Yakutia, Yamal and the Subpolar Arctic [7; 8] has shown that the greatest difficulty in

constructing arises in areas of high-temperature permafrost.

The *objective* of the technological research is to develop methods for constructing subgrade on high-temperature permafrost soils that ensure safety and dependability of the structure by regulating and monitoring construction loads and impacts.

RESULTS

Methodology for Technical Regulation of Construction

Conditions for safe construction include its geotechnical monitoring (GTM), which, according to the standards^{4,5}, includes control of temperature and humidity parameters in the body and base of an unfinished structure.

The main provisions of the relevant methodology are described by the authors in [9]. For stability of the foundation soils and stability of the structure at all stages of the evolution of the object, it is necessary to apply a technological regime for systematic regulation of construction and operational loads [10], which is provided by integrated technology (IT), patented and implemented on northern construction sites [11]. Its content is to organise geotechnical studies of the current state of soft soils and implement the highest safety-permissible vibration and shock loads from compaction machines. The composition of IT (Pic. 1) includes pre-construction (pre-production), the main construction period and structural blocks. The interaction of blocks and organisation of production management is carried out by the Centre of technical regulation (TR Centre). The main function of GTM (this is the fundamental difference with monitoring of already operating facilities) is information support and adjustment of production parameters.

For effective soil compaction, the requirement [4, 12] is accepted that loads must be applied to the soil's ultimate strength. The permissible technological load on soft soils must correspond to the condition:

$$K_r(F_s - F_p)t / F_{st} \geq K_{st} \quad (1)$$

where K_r , K_{st} – accordingly, the design coefficients of reliability (dependability) and

¹ Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020, No. 645 «On the Strategy for development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period until 2035». [Electronic resource]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>. Last accessed 15.12.2023.

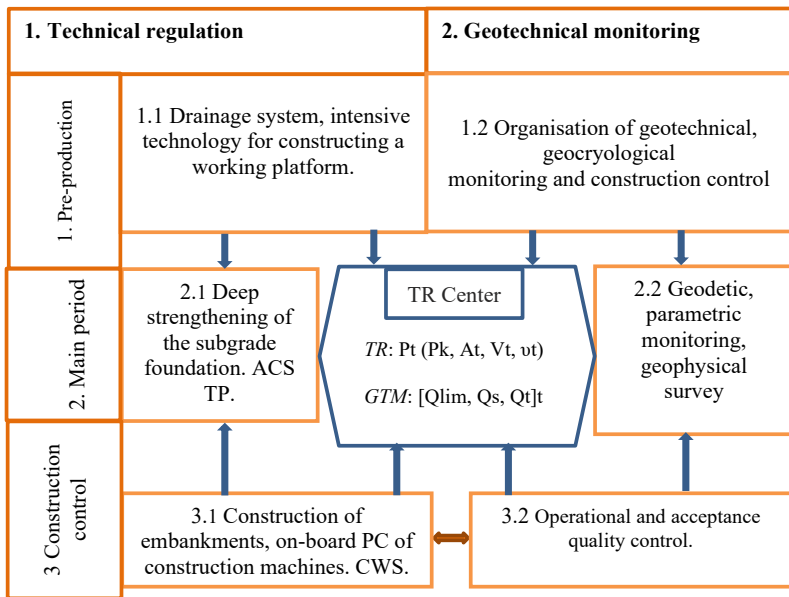
² Technical regulations on safety of buildings and structures: Federal Law No. 384-FZ. [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720. Last accessed 12.09.2023.

³ Recommendations for intensive technology and monitoring of construction of earthen structures on weak foundations. MIIT, Moscow, Timr, publ., 2005, 96 p.

⁴ SP [Construction rules] 25.13330.2020. Basements and foundations on permafrost soils. Moscow, 2020, 123 p.

⁵ SP [Construction rules] 305.1325800.2017. Buildings and structures. Rules for geotechnical monitoring during construction. Moscow, Standartinform publ., 2017, 61 p.





Pic. 1. Structure of technical regulation and monitoring of construction of geotechnical objects [developed by the authors].

stability of the subgrade during the t -th technological cycle; F_s, F_t – respectively, loads, safe for soft soils, and technological loads, F_p – pore pressure.

The load F_s is determined depending on the structure and strength characteristics of the soft layer according to the rules^{4,6}. In the mode of vibration compaction of soils, the safe limit should be considered:

$$F_{\pi}(P_k, A, V, v) < \min[F_{lim}, F_s, F_{thix}]t, \quad (2)$$

where F_{π} – load depending on the contact rigidity of the soil layer and the parameters of the vibrating drum which are weight P_k , amplitude A , speed of motion V , frequency v ;

F_{lim} – soil strength limit;

F_{thix} – thixotropic load limit in the t -th period of work (work shift).

Under these conditions, it is necessary to calculate the risk of violating the stability of the foundation by construction machines, when the technological impact exceeds the load that is safe for soils (taking into account pore pressure) [13]. The limit state is determined by the probability P_t that the value F_s will be less than the process load from the machines F_m and the constructed part of the object F_c :

$$P_t = p[F_s - (F_m + F_c) / K_r]t < 0. \quad (3)$$

Thus, during construction work, the TR Centre carries out continuous diagnostics of the

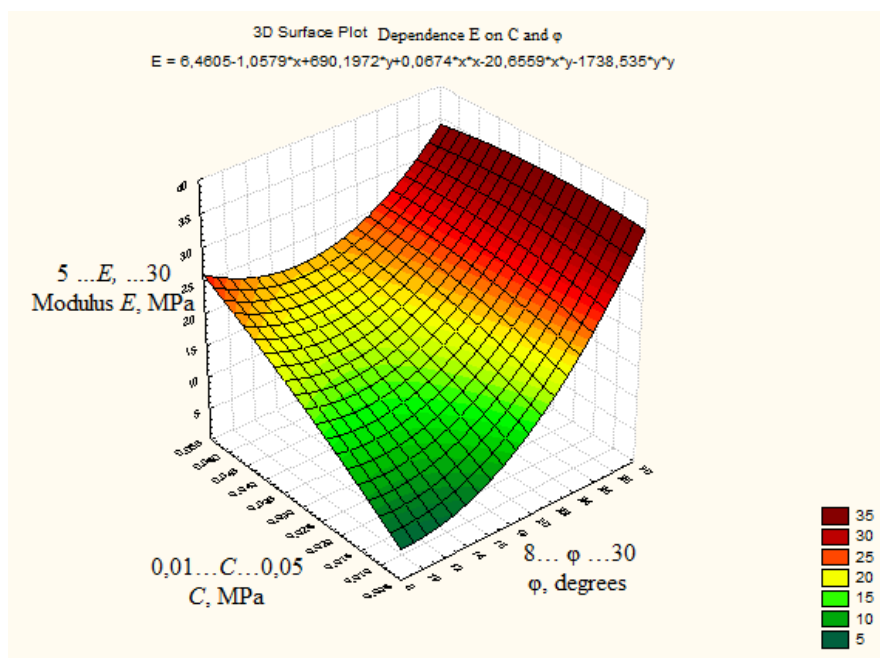
subgrade been constructed to prevent its limiting state, especially in areas of individual design (slopes, karsts, etc.).

The *IT preparatory period* includes the stages of installing a drainage system, a working platform for heavy construction equipment and organising geotechnical monitoring. Drainage slots provide a reduction in humidity by squeezing water out of the active layer with a vibrating roller in the autumn at the beginning of freezing and migration of moisture accumulation [14]. Construction of a working platform, i.e., track for moving heavy construction equipment, is carried out in intensive compaction mode. At this stage, requirements for GTM are formed to determine temperature and humidity characteristics of soils, control the volume of water migration, total humidity and stability of the active layer.

To record current changes in heat exchange in the arrays of the object under construction and the natural environment according to the standards^{5,6} it is necessary to carry out work on installation of stationary monitoring points and networks for monitoring the temperature regime and deformations of each layer. Regular querying of networks is especially important for assessing the performance of the drainage system and stabilisation of foundation soils.

During the pre-production stage, the TR Centre must have constant information about the condition of engineering structures. If stability

⁶ SP [Construction rules] 447.1325800.2019. Railways in permafrost areas. Moscow, Standartinform publ., 2019, 40 p.



Puc. 2. Relationship between changes in deformation modulus E, MPa, adhesion C, MPa and internal friction angle ϕ , degrees, of thawed cohesive soils [developed by the authors].

according to the standards⁴ is not ensured, organisational and technological solutions should be applied that include:

1) Intensive technology of vibration compaction of the foundation in combination with a drainage system of slots and drainage systems.

2) Replacing soft soil with sand, placing a sand mass on the mineral bottom.

3) Arrangement of a pile field.

The choice of hardening option includes modelling, calculation of technological parameters, forecast of settlement, strength characteristics of soils, timing and cost of work. When determining settlement during the construction period, it is necessary to consider anisotropy, the structure of soil strata, rheological properties of soils, the possibility of their deterioration if not stabilised during work and the production schedule. The deformability of the foundation of subgrade structures is predicted taking into account the principle of dynamic equilibrium between the amount of unfrozen water and ice content with changes in temperature and pressure [4; 6].

Implementation

The analysis of results of the study and experimental verification of IT and GTM is contained in the work of the authors [1]

highlighting that «a comprehensive technology for construction of subgrade on high-temperature permafrost has been developed, based on the regulation of construction loads and monitoring of mechanical and thermophysical processes in real time».

The relationship between blocks of technical regulation and GTM is most evident during the main period of strengthening weak foundations. When removing soft soils and replacing them with sand, soil compaction is performed using vibratory rollers, shock-impulse or drill-and-blast technology. According to the requirements⁴, main construction work must be accompanied by monitoring and regulation of the technological load, considering the forecast of the state of each layer during the work process [10].

To perform this complex task on a multi-kilometre section of the route with variable soil conditions, mobile mechanical division uses the entire range of GTM provided for by the standards⁵ (geodetic, parametric monitoring, geophysical research) and the capabilities of the control and warning system [5, 15]. The characteristics of the foundation soils are checked by control drilling along the depth of the replaced soil mass to determine the presence of lenses, i.e., the remains of soft, waterlogged soils and peats. It is in these areas that increased humidity leads to a decrease in strength characteristics of



deformation modulus (Pic. 2) and, as a consequence, to the risk of creep and squeezing out of soil from the under-slope part of the embankment. This phenomenon is confirmed by the regression dependence obtained from the results of statistical analysis of survey data on the experimental design section of Obskaya – Salekhard line [8]:

$$E = 6,46 + 690,19X + 0,07Y^2 - 1,06Y - 20,66XY - 1738,54X^2, \quad (4)$$

where X – adhesion C , MPa,

Y – angle of internal friction φ , degrees;

E – deformation modulus, MPa.

This dependence ($R = 0,86$; $F = 27,9$; $p = 0$; $N = 48$) shows the interaction between the deformation and strength characteristics of soft soils. The use of drainage system technology and vibration compaction mode to prepare the working platform increases the values of characteristics C and φ , and module E increases accordingly.

The technological regime must consider the dynamics of pore pressure in the undrained (unconsolidated) state of the soil massif based on numerical modelling and assessment of the stress-strain state of the soil massif. If settlement has accelerated, the construction load should be adjusted, compaction should be stopped, and additional engineering and hydrological surveys should be carried out.

Experimental use of IT on foundations with deep (larger than the active zone) placement of subsidence soils according to the option of cutting them out and replacing them with sand showed the need for individual solutions described in [13]. For effective vibration compaction of sand, it is proposed to regulate the operating mode of the vibratory roller. When compacting a sand mass using the shock-pulse method [13], adjustable parameters are determined: placement of positions of the machine, impact impulse, number of impacts at each position. The peculiarity of regulation is the systematic diagnosis of the foundation at each position and in-between machine positions and calculation of the parameters of the impact (dynamic impact) depending on the state of the sand mass. The experience of constructing a highway on soft soils [11; 13] has shown the effectiveness of accompanying the work with comprehensive geophysical survey, including: electrical prospecting; seismic exploration; profiling by mobile ground-penetrating radar; hydrogeological surveys with regime wells.

Integrated GTM makes it possible to control replacement of soft peat soils, pore pressure and density of the sand massif.

The most difficult conditions for the implementation of IT were revealed during development of the special technical specifications for completing construction (strengthening) of Nadym – Pangody railway [17]. According to engineering survey materials, the route had island permafrost, waterlogged fine silty sands and loams of fluid-plastic consistency, which are soft heaving soils with low bearing capacity. For reconstruction of the subgrade, fundamentally different transverse profiles were designed: a) an extension with berms to the embankment of the existing track; b) adding embankments over the existing track; c) new structures. The greatest deformations occur under technological loads during work in the under-slope part of existing track embankments with an increase in the thawing layer of plastically frozen soils. The risks of a dangerous combination of loads and the limiting state of an unfinished object are increasing, which are associated with variable conditions of a multi-kilometre long site, different design of structures, heterogeneity of soil composition along the longitudinal and transverse profiles of embankments and excavations. Under these conditions, it is necessary to calculate the risk of violating the stability of the foundation by construction machines, when the technological impact exceeds the load that is safe for the soil.

The design parameters must be determined taking into account the variable conditions along the route and during the work: heterogeneity of the characteristics of geology, lithology, and terrain slopes. Assessment of changes in the state of the right-of-way during construction of the subgrade is carried out by stationary monitoring points and the TR Centre using digital aerial photography and ground-based laser scanning data.

To increase the efficiency of geological and technical measures, recommendations are given in [1] on advisability of organising the constant transfer of digital information about the state of soils in each base layer based on the results of geophysical research to the TR Centre, to a unit of automated devices for regulating the modes of construction equipment. Intense machine loads can lead to intensification of hazardous natural phenomena. For example, landslide and karst-and-suffosion processes are sensitive to changes



<https://static.ngs.ru>

(movement) in the state of soil masses. Loss of stability of embankments can be caused by movement of earth masses on the track profile, redistribution of ground and surface water, and variable loads from earthmoving and transport machines.

Considering such interaction corresponds to modern trends in improving the mechanisation of work using a remote program or automatic technological processes' control system (ACS TP) [18]. Laser scanning systems consider the marks of the longitudinal and transverse profile of the structure, which change when machines operate at any point on the construction site. The operational task is to organise the interaction of geotechnical monitoring and automatic control systems of machines for a targeted and safe increase in the bearing capacity of foundations⁷.

An increase in the vibration load of the roller in the active layer leads to an increase in humidity and, consequently, to a decrease in the deformation modulus of soils. Operational control should include synchronous assessment of compliance of current values of the safe load and regulated modes – changes in the amplitude and frequency of vibrations of the vibrating drum. Geotechnical monitoring data are the initial data for modern vibratory rollers [19]. The machine's on-board computer allows you to set the vibration parameters and speed of the roller depending on the degree of soil compaction. After registering and converting signals about fulfilment of the condition (1), it becomes possible to increase, or in case of

a dangerous signal, immediately reduce the vibration load to the maximum permissible value and switch to oscillation. For example, the Variocontrol control system of the Bomag roller provides an infinitely variable amplitude increase and frequency adjustment to change the disturbing force to a maximum value. At the same time, the on-board PC determines the dynamic modulus of soil deformation through the ratio of the contact zone, dynamic pressure of the drum and the compressive strength of the soil. The current value of the machine's deformation modulus should be compared with the calculated deformation characteristics of the compacted layer obtained from GTM and soil laboratories. This data is transmitted to the TR Centre for diagnostics and forecast of the object's condition. Systematic regulation of vibration load and control of soil density makes it possible to increase strength and meet design requirements for the foundation at a specific site of embankment construction.

In areas of deep strengthening of weak foundations, it is necessary to organise quality control of the processes of vibration compaction of the upper zone for the working platform and installation of a pile field in the form of bored, geotextile or crushed stone piles (depending on the design solution) with a flexible grillage. For this purpose, modelling and calculation of the bearing capacity of piles are applied in the Midas GTS NX software [15; 17].

When constructing piles, based on engineering survey data, the geological structure, groundwater level and soil characteristics are considered. Modern vibratory hammers and drilling machines (for example, Liebherr series) ensure the quality

⁷ ISO 18674–1:2015. Geotechnical investigation and testing – Geotechnical monitoring by field instrumentation – Part 1: General rules.



of work using an on-board ACS TP for monitoring and regulating the drilling speed, the depth and verticality of the auger immersion into the ground, and the pressure of the concrete mixture. The machine's software package allows obtaining a pile passport with its profile on the geological section and the volume of material laid in the well. During piling work, the control functions of GTM are aimed at clarifying information about the calculated values of soil resistance along the lateral surface of the piles. Testing of piles and of the interpile zone should be included in the work package to complete the technological cycle of foundation preparation.

The installation of piles using vibration loading and driving methods allows increasing the density of the foundation

$$\rho_{dt} = \frac{\rho_{do}}{1 - \frac{K_c V_{dt}}{V}}, \quad (5)$$

where ρ_{do} – initial soil density,

V – array volume,

K_c – compaction factor;

V_{dt} – additional volume of materials for strengthening the foundation during technical regulation (volume of sand during compaction of the drainage layer and volume of bored piles).

After piling work and installation of a flexible grillage, the final stage of IT is performed: vibration compaction of the grillage and control of the design dependability of the foundation for transition to the structural and technological cycle of embankment construction. When organising construction control, one should take into account the possibility of interaction between GTM and a modern control and warning system (CWS). Developed for operation of structures in difficult hydrogeological conditions, the CWS can be useful already at the construction stage for the purpose of timely identification of the pre-limit state, especially landslide areas. The block diagram (see Pic. 1) provides for interconnection of blocks with the hardware and linear subsystems of the CWS, which includes fibre-optic cables for measuring and monitoring temperature and strain by linearly distributed sensors [19]. The ability to obtain constant data about these characteristics will make it possible to control changes in the temperature field and stresses in soils during construction.

Implementation Experience

The practical application of the results of long-term studies has been described by the authors in [1]. Namely, it was noted that «The

basic provisions of IT and geotechnical monitoring were developed and improved by the Institute of track, construction and structures of Russian University of Transport (MIIT) in 2009–2019. They served as a basis for development of technical regulations for construction of sections of Obskaya – Bovanenkovo – Karskaya and Berkakit – Tommot – Yakutsk railways and construction of Nadym – Salekhard highway [16]. The research was carried out within the framework of the «Agreement on Strategic Partnership between the Government of the Yamal-Nenets Autonomous District and Russian University of Transport», signed in 2013 and updated in 2018» [1].

Technical regulations for construction of sections of Obskaya – Bovanenkovo – Karskaya railway included monitoring that comprised an analysis of geocryological processes for construction of a technological motor road, one-stage and two-stage construction of embankments using near-route quarries. The forecast of formation of the thermal field under the design embankment of the Northern latitudinal railway section, carried out using the «Qfrost» program [11], taking into account thermal conductivity and the annual temperature balance, established the formation of new and development of existing blind talik zones.

The results of the authors' research on strengthening high-temperature permafrost soils were tested under the conditions of railway reconstruction. The proposals prepared for reconstruction of the subgrade have been included in the special technical specifications for design, construction and commissioning for «Completion of construction (strengthening) of Nadym – Pangody railway», and were reported at a conference organised by Yamal-Nenets Autonomous District [20].

CONCLUSIONS

The construction of subgrade on high-temperature permafrost soils using powerful construction equipment is associated with the risk of attaining limit states of the foundation and loss of stability of unfinished geotechnical structures. The proposed IT includes a drainage device, adjustable technological modes and monitoring, which jointly and purposefully ensure the design requirements for safety of the facility.

Geotechnical monitoring at the stage of construction works and of regulation of

construction loads includes complementary studies of mechanical and thermophysical processes occurring in layers of thawing and thawed soils during construction and assembly works. The linkage of monitoring functions with ACS TP of construction machines is promising to assess the impact of works on the condition of soils.

For effective implementation of the developed technological system for regulating and monitoring the processes of strengthening soft soils, it is advisable to provide in the consolidated calendar plan for construction of a section of the railway track the organisation of experimental sites of subgrade subject to field tests and geocryological studies of the dynamics of the bearing capacity of the foundation under the influence of construction equipment.

REFERENCES

1. Shepitko, T. V., Lutsky, S. Ya., Artyushenko, I. A. Technological regulation and monitoring of construction of subgrade in the permafrost zone [*Tekhnologicheskoe regulirovanie i monitoring sooruzheniya zemlyanogo polotna v kriolitozone*]. *TRANSOILCOLD 2023: Proceedings of the 6th International Symposium on Construction Engineering of Ground Structures in Transport in Cold Regions*, Moscow, October 02–05, 2023. Gen. editorship by Shepitko, T. V. Moscow, Dashkov and K publ. and trad. corp., 2023, pp. 185–188. EDN: RCIZKN.
2. Brushkov, A. V., Harris, S. A., Cheng, G. Geocryology. Characteristics and use of permafrost. Volume 1. Moscow, Direct-Media publ., 2020, 437 p. ISBN 978-5-4499-1199-5.
3. Shakhunyants, G. M. Railway track [*Zheleznodorozhnyi put*]. Moscow, Transport publ., 1987, 479 p.
4. Tsytoich, N. A. Mechanics of frozen soils [*Mekhanika merzlykh gruntov*]. Moscow, Librokomp publ., 2009, 445 p. ISBN 978-5-397-00966-9.
5. Ashpiz, E. S. Monitoring of roadbed during railway operation [*Monitoring zemlyanogo polotna pri ekspluatatsii zheleznykh dorog*]. Moscow, Put-Press publ., 2002, 112 p. ISBN 5-88332436-3/7.
6. Li, Guoyu; Li, Ning; Quan, Xiaojuan. The temperature features for different ventilated-duct embankments with adjustable shutters in the Qinghai–Tibet railway. *Cold Regions Science and Technology*, 2006, Iss. 44, pp. 99–110. DOI: 10.1016/j.coldregions.2005.08.002.
7. Jiankun, Liu; Liyun, Peng. Experimental Study on the Unconfined Compression of a Thawing Soil. *Cold Regions Science and Technology*, 2009, Vol. 58, pp. 92–96. DOI: 10.1016/j.coldregions.2009.03.008.
8. Lutskiy, S. Ya., Shepitko, T. V., Cherkasov, A. M. Composite technology of earthwork construction on taliks in cryolithic zones. *Cold Regions Science and Technology*, 2013, Vol. 5, pp. 577–581. DOI: 10.3724/SP.J.1226.2013.00577.
9. Lutsky, S. Ya., Shepitko, T. V., Tokarev, P. M., Dudnikov, A. N. Construction of railways in the North: Scientific and practical publication [*Stroitelstvo putei soobshcheniya na severe: Nauchno-prakticheskoe izdanie*]. Moscow, LATMES, 2009, 286 p. ISBN 978-5-93271-529-1.
10. Lutsky, S. Ya., Ashpiz, E. S., Dolgov, D. V. Roadbed and method of its construction [*Dorozhnoe polотно i sposob ego vozvedeniya*]. Patent № 2005104907/09(006247). Moscow, FIPS, 2005. [Electronic resource]: <https://patents.google.com/patent/RU2273687C1/ru>. Last accessed 17.12.2023.
11. Lutsky, S. Ya., Roman, L. T. Technical regulation of the characteristics of permafrost soils in the foundation of roads [*Tekhnologicheskoe regulirovanie kharakteristik mnogoletnemerzlykh gruntov v osnovanii dorog*]. *Foundations, basements and soil mechanics*, 2017, Iss. 3, pp. 26–30. EDN: ZSSKCL.
12. Kharkhuta, N. Ya., Vasiliev, Yu. M. Strength, stability and soil compaction of highway roadbeds [*Prochnost, ustoychivost i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog*]. Moscow, Transport publ., 1975, 285 p.
13. Lutsky, S. Ya., Sakun, B. V. Theory and practice of transport construction [*Teoriya i praktika transportnogo stroitelstva*]. Moscow, The first exemplary printing house, 2018, 304 p. ISBN 978-5-98585-219-6.
14. Shepitko, T. V., Lutskiy, S. Ya., Landsman, A. Ya., Artyushenko, I. A. Features of the Construction of the Roadbed in the Areas of High-Temperature Permafrost of the Northern Latitudinal Passage. *AIP Conference Proceedings*, 2023, Vol. 2476, Iss. 1, art. 020025. DOI: 10.1063/5.0103111.
15. Lychkovsky, A. A., Lutsky, S. Ya. Features of geotechnical monitoring of roadbed construction on permafrost soils [*Osobennosti geotekhnicheskogo monitoring sooruzheniya zemlyanogo polotna na mnogoletnemerzlykh gruntakh*]. *Vestnik SGUPS*, 2022, Iss. 3 (62), pp. 23–30. DOI: 10.52170/1815-9265_2022_62_23.
16. Shepitko, T. V., Lutsky, S. Y., Nak, G. I., Cherkasov, A. M. Technological Features of Construction and Reconstruction of Geotechnical Structures in the Arctic Zone. *Designs*, 2022, Vol. 6, Iss. 2, 34. DOI: 10.3390/designs6020034.
17. Lutsky, S. Ya., Artyushenko, I. A. Methods and models for organizing construction of railways [*Metody i modeli organizatsii stroitelstva zheleznykh dorog*]. Moscow, Pero publ., 2022, 147 p. ISBN 978-5-00204-783-3.
18. Floss, R. Verdichtungstechnik im Erdbau und Verkehrswegebau. Deutschland, Koblenz: BOMAG GmbH & Co. OHG, 2001, 148 p. ISBN 978-3433007068
19. Dmitriev, S. A. Innovative fibre technologies for railway transport [*Innovatsionnye volokonnye tekhnologii dlya zheleznodorozhnogo transporta*]. *Transport of the Russian Federation*, Iss.1, 2016, pp. 26–27. EDN: VXESQH.
20. Shepitko, T. V., Nak, G. I., Cherkasov, A. M., Lutsky, S. Ya. Technological features of construction and reconstruction of geotechnical structures in the permafrost zone [*Tekhnologicheskie osobennosti stroitelstva i rekonstruktsii geotekhnicheskikh sooruzhenii v kriolitozone*]. In: *Modern studies of transformation of the cryosphere in the Arctic*. Salekhard, 2021, pp. 484–486. DOI: 10.7868/9785604610848130. ●

Information about the authors:

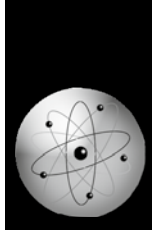
Shepitko, Taisiya V., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Design and Construction of Railways of Russian University of Transport, Director of Institute of Track, Construction and Structures, Moscow, Russia, shepitko-tv@mail.ru.

Lutsky, Svyatoslav Ya., D.Sc. (Eng), Professor, Moscow, Russia, lsy40@mail.ru.

Artyushenko, Igor A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Design and Construction of Railways of Russian University of Transport, Moscow, Russia, tywka351@mail.ru.

Article received 14.05.2024, approved 27.05.2024, accepted 30.05.2024.





Resistance of Asphalt Concrete to Plastic Rutting Depending on Shear Resistance of Binders



Yury A. TSIBARIUS



Alexey L. LANIS



Alexey N. BERDYUGIN



Maxim A. RAZUVAEV

Yury A. Tsibarius¹, Alexey L. Lanis², Alexey N. Berdyugin³, Maxim A. Razuvaev⁴

^{1, 2, 3, 4} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia.

¹ ORCID 0009-0002-4398-3492; Russian Science Citation Index Author ID 1234849.

² ORCID 0000-0001-5353-1030; Scopus Author ID 57204686306; Russian Science Citation Index Author ID 651559.

³ ORCID: 0009-0009-7834-3576; Russian Science Citation Index SPIN-code: 9725-3756; Russian Science Citation Index Author ID: 1234837.

⁴ ORCID: 0009-0003-0015-558X.

✉ ¹ yustu@yandex.ru.

ABSTRACT

The paper substantiates the relevance of studying the process of plastic rutting on roads with asphalt concrete pavements. It is hypothesised that the existing approach to monitoring quality indicators at the stage of production of asphalt concrete mixtures, including the components included in its composition, namely, monitoring the required resistance to plastic rutting of the resulting asphalt concrete pavements, has a significant drawback. The indicated drawback is that assessment of the possibility of using a specific batch of binder for preparation of asphalt concrete mixture is currently carried out only based on incoming quality control of the binder, by comparing the actual values of physical and mechanical characteristics obtained in the laboratory with the minimum standard values stated for the grade of binder material

adopted in the design documentation, without taking into account the actual values of the quality characteristics of the binder used at the stage of laboratory selection of the mixture composition. This drawback, in some cases, can lead to failure to ensure the resistance of the asphalt concrete mixture to plastic rutting at the stage of its production.

The study contains the results of testing the shear resistance of batches of binders of one performance grade and the resistance of asphalt concretes prepared using these binders to plastic rutting. The results of the study confirm the hypothesis put forward by the authors; the dependence of the «average rut depth» indicator on the shear resistance of the binder aged by the RTFOT method is obtained and statistically substantiated.

Keywords: motor transport, asphalt concrete, binders, plastic rutting, shear resistance, resistance to rutting, average rut depth.

Acknowledgments: The research was conducted with the support of Russian Science Foundation and Government of Yamalo-Nenets Autonomous Area (project No 24–19–20036).

For citation: Tsibarius, Yu. A., Lanis, A. L., Berdyugin, A. N., Razuvaev, M. A. Resistance of Asphalt Concrete to Plastic Rutting Depending on Shear Resistance of Binders. *World of Transport and Transportation*, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 178–183. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-4>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

One of the main regulatory requirements for the operating condition of motorways in terms of ensuring road traffic safety is limitation of the maximum rut depth on the road surface. At the same time, at present, up to 35 % of all identified cases of substandard transport and operating condition of motorways are due to the presence of ruts on the surfaces with a depth exceeding the established maximum values [1].

The rutting on asphalt concrete surfaces is caused by both plastic deformations of the surface material (plastic ruts) and abrasion of the surface material (abrasive ruts). Plastic rutting, in turn, can be either superficial [mix rutting], associated with the discrepancy between the actual shear resistance of the surface layer material (asphalt concrete) and specific operating conditions, or deep [subgrade rutting], the appearance of which is caused by shear deformations of the underlying layers of the road surface and the subgrade [1–3]. This study examines plastic surface rutting, visually distinguished by the presence of uplift (shearing) [1], i.e. lateral uplifts of asphalt concrete along the boundaries of the track (wheel path) (Pic. 1).

Surface plastic rutting on asphalt concrete pavements develops during the hottest time of the year and has, mainly, a cumulative effect – it is formed under the influence of the load from passing vehicles. In accordance with the current regulatory documentation, the resistance of asphalt concrete to this type of rutting is assessed by the values of the «average rut depth» indicator obtained during the corresponding tests in laboratory conditions. The essence of the method lies in the cyclic effect of the load (20000 passes of the loaded wheel) on the control sample of asphalt concrete at a given temperature, followed

by determining the average rut depth based on the results of two parallel tests [4].

The target values of the «average rut depth» indicator are established in the regulatory documentation for asphalt concrete mixtures of various types, depending on the operating conditions of specific sections of motorways. Achieving these target indicators in laboratory conditions is mandatory for approving the composition of the asphalt concrete mixture for production of works. Additionally, quality control of the asphalt concrete mixture for this parameter is provided at the stage of its production with a frequency of once every 15 days.

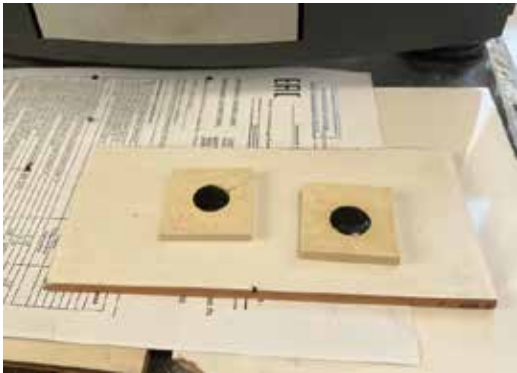
The fact of a significant influence of the properties of the binder included in the asphalt concrete mixtures on the properties of asphalt concrete, including resistance to plastic rutting, is noted in the works of many authors [1, 3, 5–15]. The assessment of the possibility of using a specific batch of binder for preparation of asphalt concrete mixture is currently carried out on the basis of incoming quality control of this material, by comparing the actual values of physical and mechanical characteristics obtained in the laboratory with the minimum standard values established for the grade of binder adopted in the design documentation, without taking into account the actual values of the quality characteristics of the binder used at the stage of laboratory selection of the composition. The implementation of this approach, which consists only in confirming the required grade of binder when assessing the possibility of its use, without considering the actual values of its characteristics, can lead to failure to ensure the resistance of the asphalt concrete mixture to plastic rutting at the stage of its production.

To test this hypothesis and develop a new approach to assessing the possibility of using



Pic. 1. Ridge of the uplift of the asphalt concrete pavement with a surface plastic rut [photos by the authors].





a)



b)

Pic. 2. Preparation of control plate samples (a) with testing on a dynamic shear rheometer (b) [photos by the authors].

batches of binders entering production, the authors conducted studies aimed at identifying the dependence of the resistance of asphalt concrete to plastic rutting on the properties of binders.

RESULTS

The parameters characterising the efficiency of the binder at positive temperatures are the shear resistance of the original binder and the shear resistance of the binder aged by the *RTFOT* method. The *RTFOT* method allows us to evaluate the changes in the properties of the binder (the term «aging» is used in the regulatory documentation) that occur during preparation of hot asphalt concrete mixtures.

The laboratory conducted studies of samples of binders of the *PG [Performance Grade] 64–40* produced by four manufacturers – hereinafter samples № 1 – № 4. The choice of the bitumen binder performance grade is due to the climatic conditions of operation of motorways in Novosibirsk region.

To determine the value of the shear resistance of the bitumen binder in accordance with the regulatory methodology, control samples with a diameter of 25 mm (Pic. 2a) were made from each binder with their

subsequent testing with a dynamic shear rheometer (Pic. 2b).

The results of testing the shear resistance of the original binder and the shear resistance of the binder aged by the *RTFOT* method for all samples are shown in Pic. 3. The level of the horizontal red line in Pic. 3 corresponds to the requirements for the shear resistance values of the binder *PG 64-Y* grade at a test temperature of 64°C.

The obtained results confirm that all tested binders meet the requirements for the *PG 64-Y* grade, while for the different tested samples of the original binder the values of shear resistance differ by more than 5 times, and the values of shear resistance of the binder aged by the *RTFOT* method by more than 2 times.

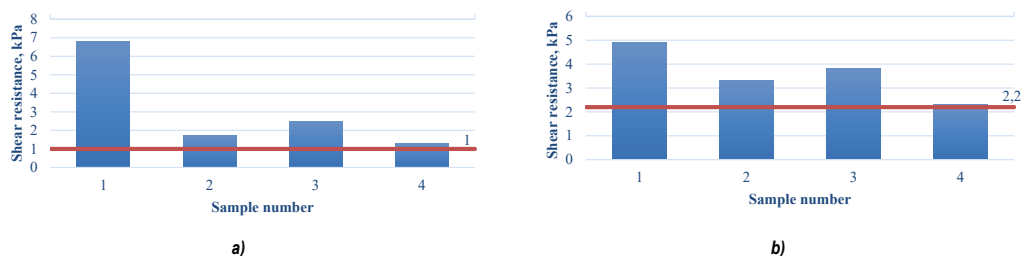
To determine the effect of shear resistance of the bitumen binder on plastic rutting, the stone mastic asphalt concrete mixture *SMA-16*, used in Novosibirsk region, was chosen as the test material. The composition of the mixture, given in Table 1, was selected by the authors as part of the work on construction control of road construction projects.

At the stage of selecting the specified composition in laboratory conditions, the value of the «average rut depth» indicator was obtained

Table 1

Composition of the SMA-16 mixture [performed by the authors]

Name of the material		Content in the mixture, %
Mineral part of the mixture by fractions	fr. 0–4 mm	16,5
	fr. 4–11,2 mm	44,3
	fr. 11,2–16,0 mm	25,1
	Mineral powder MP-1	8,5
Stabilising additive SD-3		0,4 (in 100 %)
Organic binder PG 64–40		5,2 (in 100 %)



Pic. 3. Results of testing the shear resistance of the original binder (a) and the binder aged by the RTFOT method (b) at a test temperature of 640C [performed by the authors].



Pic. 4. Preparation of control sample slabs (a) with testing on a load wheel rolling tester (b) [performed by the authors].

equal to 3,30 mm with the values of shear resistance of the used bitumen binder *PG* 64–40 at a test temperature of 64°C: for initial bitumen binder –1,3 kPa; for bitumen binder aged by the *RTFOT* method – 3,0 kPa.

As part of the study, 4 samples of stone mastic asphalt concrete mixture *SMA*-16 were prepared in laboratory conditions using the previously studied *PG* 64–40 binders.

To determine the values of the «average rut depth» indicator, control slabs (Pic. 4a) were prepared on a sector compactor using respectively each prepared sample of stone mastic asphalt concrete mixture *SMA*-16, with their subsequent testing on a load wheel rolling tester unit (Pic. 4b).

The results of determining the values of the «average rut depth» indicator, obtained at the stage of selecting the composition and the stage of conducting testing, are shown in Table 2.

Analysing the results of the tests, it should be noted that for sample No. 4, corresponding to the *PG* 64–40 binder grade in terms of shear resistance, the value of the «average rut depth» indicator was obtained that does not correspond to the requirements of the regulatory documentation established for the *SMA*-16 stone mastic asphalt concrete mixture (no more than 3,5 mm). This fact confirms the correctness of the hypothesis put forward by the authors.

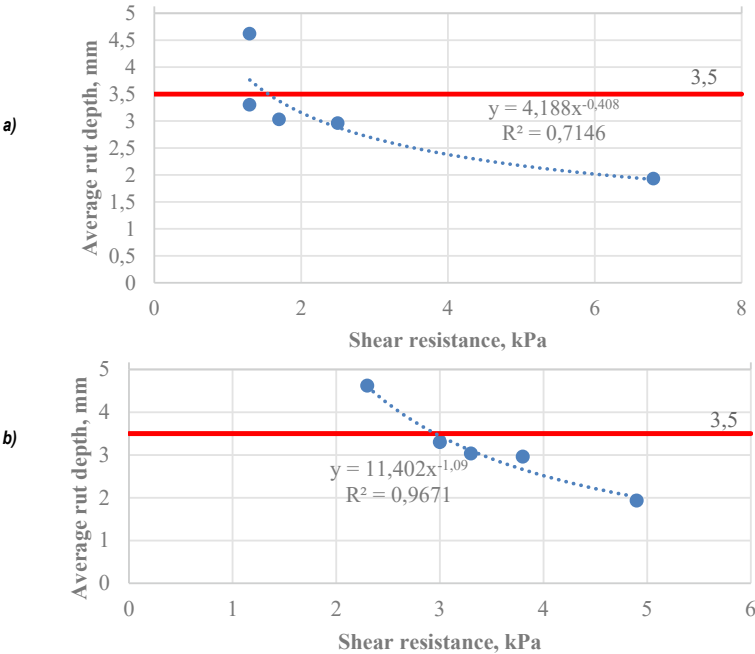
To develop a new approach to assessing the possibility of using batches of binders supplied to production site, the authors conducted a regression analysis of the obtained data, based on the results of which functional dependencies were established for the value of the «average rut depth» indicator on the value of the shear resistance of the binder for the *SMA*-16 asphalt concrete mixture of the composition under study (Pic. 5).



Table 2

Results of determining the values of the «average rut depth» indicator [performed by the authors]

Parameter	Meas. unit	Value of the parameter				
		at the stage of selecting the composition of the mixture	for the sample №			
			1	2	3	4
Average rut depth	mm	3,30	1,93	3,03	2,96	4,62



Pic. 5. Dependence of the value of the «average rut depth» indicator on the shear resistance of the original binder (a) and the binder aged using the RTFOT method (b) [performed by the authors].

Table 3

Results of testing the significance of dependencies using the F-criterion [performed by the authors]

№ of the dependence	n	m	R ²	F _{fact}	F _{tabl}	
					α = 0,05	α = 0,01
1	5	1	0,7146	7,51	10,13	34,12
2	5	1	0,9671	88,19	10,13	34,12

The obtained dependencies are of the following types:

$$RD = 4,188 \cdot \left(\frac{G^*}{\sin \delta}\right)^{-0,408}, \quad (1)$$

$$RD = 11,402 \cdot \left(\frac{G^*}{\sin \delta}\right)^{-1,09}, \quad (2)$$

where RD is average rut depth, mm;
 G^* – complex shear modulus, kPa;
 δ – phase angle, rad;
 G^*/δ – shear resistance of the original binder (1) or of the binder aged by the RTFOT method (2), kPa.

The results of significance test of the obtained dependencies (regression equations) using the

Fisher's exact criterion (F-criterion) are given in Table 3.

The data presented in Table 3 confirm the possibility of using dependence (2) when calculating the predicted values of the «average rut depth» indicator through the values of the shear resistance of binders aged using the RTFOT method.

CONCLUSION

Based on the results of the conducted research, the authors have confirmed the hypothesis about the presence of a significant drawback in the existing approach to production of asphalt concrete mixtures, which consists in

confirming only the required grade of binder when assessing the possibility of its use, without taking into account the actual values of its characteristics. It is shown that this drawback in some cases can lead to failure to ensure the resistance of the asphalt concrete mixture to plastic rutting. The relationship between the resistance of asphalt concrete to formation of plastic rutting and the shear resistance of binders included in the asphalt concrete was established, and a functional dependence of the value of the «average rut depth» indicator on the value of the shear resistance indicator of the binder aged by the RTFOT method for the SMA-16 asphalt concrete mixture of the composition under study was obtained. The use of this functional dependence will allow determining the predicted value of the «average rut depth» indicator at the stage of incoming inspection of binders, and consequently significant reduction in the likelihood of producing asphalt concrete mixture that does not meet the requirements of regulatory documentation for resistance to surface plastic rutting.

REFERENCES

1. Konoreva, O. V., Muravyov, Yu. A. Analysis of modern methods for increasing the resistance of asphalt concrete pavements to rutting [Analiz sovremennykh metodov povysheniya ustoichivosti asfaltobetonnnykh pokrytii k koleobrazovaniyu]. *Engineering Bulletin of the Don*, 2016, Iss. 4 (43), p. 136. EDN: VYBWGI.
2. Mijoski, G. Rut appearance on pavement surface and measurements on motorway A-4 in Macedonia. *International Scientific Conference. People, Buildings and Environment*. Kromeriz, Czech Republic, 2014, pp. 296–305.
3. Kostelnov, M. P., Perevalov, V. P., Pakhareno, D. V. The practice of combating rutting of asphalt concrete pavements can be successful [Praktika borby s koleenostyu asfaltobetonnnykh pokrytii mozhet byt uspezhnoi]. *Dorozhnaya tekhnika*, 2011, Iss. 2, pp. 54–70.
4. Simchuk, E. N., Zhdanov, K. A., Dedkovsky, I. A. Improving approaches and methods for assessing the physical and operational properties of road asphalt concrete in Russia [Sovershenstvovanie podkhodov i metodov otsenki fizicheskikh i ekspluatatsionnykh svoystv dorozhnogo asfaltobetona v Rossii]. *Dorogi i mosty*, 2021, Iss. 1 (45), pp. 181–221. EDN: NLXXIP.
5. Ziari, H., Shirini, B., Imaninasab, R. Rutting evaluation of rubberized and SBS modified porous asphalt mixtures. *Engineering Solid Mechanics*, 2015, Vol. 3, Iss. 4, pp. 253–262. DOI: 10.5267/j.esm.2015.6.001.
6. Xiongwei, D., Yanshun, J., Shaoquan, W., Ying, G. Evaluation of the Rutting Performance of the Field Specimen Using the Hamburg Wheel-Tracking Test and Dynamic Modulus. *Advances in Civil Engineering*, 2020, Iss. 1, pp. 1–15. DOI: 10.1155/2020/9525179.
7. Levkovich, T. I., Belyakov, A. I., Bilko, A. E. [et al]. On the modification of bitumen and asphalt concrete mixtures to improve the shear resistance of asphalt concrete road surfaces [O modifikatsii bitumov i asfaltobetonnnykh pokrytii avtomobilnykh dorog]. *Privolzhsky Scientific Bulletin*, 2016, Iss. 1 (53), pp. 48–53. EDN: VJLTHR.
8. Kiryukhin, G. N. Shear resistance of stone mastic asphalt concrete [Sdvigoustoichivost shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 2008, Iss. 40, pp. 76–79. EDN: NUZDXF.
9. Chernov, S. A., Chirva, D. V., Lekontsev, E. V. Influence of polymer-bitumen binder on rutting processes in the upper layers of road surfaces [Vliyaniye polimerno-bitumnogo byazhushchego na protsessy koleobrazovaniya v verkhnikh sloyakh pokrytii avtomobilnykh dorog]. *Naukovedenie*, 2012, Iss. 4 (13). EDN: PVXHPX.
10. Chernov, S. A., Kaklyugin, A. V., Nikitina, A. N., Golyubin, K. D. Influence of polymer-dispersed-reinforcing additive on operational properties of asphalt concrete [Vliyaniye polimerno-dispersno-armiruyushchei dobavki na ekspluatatsionnye svoystva asfaltobetona]. *Vestnik MGSU*, 2017, Iss. 12, № 6 (105), pp. 654–660. EDN: ZASZGZ.
11. Kotenko, N. P., Shcherba, Yu. S., Evforitskiy, A. S. Effect of polymer and functional additives on the properties of bitumen and asphalt-concrete. *Plasticheskie massy*, 2019, Iss. 1(11–12), pp. 47–49.
12. Pribylov, V. S., Pichugin, A. P. Durability of asphalt concrete with steelmaking slags with bitumen modified nano-additives [Dolgovechnost asfaltobetona na staleplavilnykh shlakakh s modifitsirovannym nanodobavkami bitumom]. *News of universities, Construction*, 2023, № 4 (772), pp. 14–23. EDN: CDUCAG.
13. Erofeev, V. T., Salnikova, A. I. Study of rheological properties of modified bitumen [Issledovanie reologicheskikh svoystv modifitsirovannogo bituma]. *Vestnik MGSU*, 2016, Iss. 8, pp. 48–63. EDN: WIQROR.
14. Belyaev, P. S., Polushkin, D. L., Makeev, P. V. [et al]. Modification of petroleum road bitumen with polymeric materials for obtaining asphalt concrete pavements with improved performance characteristics [Modifikatsiya neftyannykh dorozhnykh bitumov polimernymi materialami dlya polucheniya asfaltobetonnnykh pokrytii s povyshennymi ekspluatatsionnymi kharakteristikami]. *Vestnik TGTU*, 2016, Iss. 2, pp. 264–271. EDN: VWDSXH.
15. Dubina, S. I. Reliability of asphalt concrete pavements of highways [Nadezhnost asfaltobetonnnykh pokrytii avtomobilnykh magistraley]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2006, Iss. 3 (3), pp. 60–63. EDN: JXCMDP.

Information about the authors:

Tsibarius, Yury A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Track and Track Facilities of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, yustu@yandex.ru.

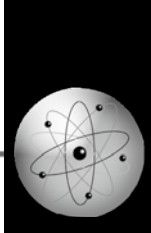
Lanis, Alexey L., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Track and Track Facilities of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, lanisal@stu.ru.

Berdugun, Alexey N., Ph. D. Student, Leading Engineer for Construction Supervision of the Research Laboratory for Quality Control of Road Surfaces and Roadbeds of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, 2438988@mail.ru.

Razuvaev, Maxim A., Ph. D. Student of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, sen@stu.ru.

Article received 15.04.2024, approved 13.05.2024, accepted 16.05.2024.





ORIGINAL ARTICLE

УДК 004.81

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-5>

Development of an Algorithm for Analysing the Condition of the Road Surface Using Artificial Intelligence



Artem O. RADA



Nikolay Yu. KONKOV

Artem O. Rada¹, Nikolay Yu. Konkov²^{1,2} Institute of Digital Science of Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.¹ ORCID 0000-0001-7678-8402; Scopus Author ID: 57201063141; Russian Science Citation Index Author ID: 1044755.✉ ¹ rada.ao@kemsu.ru.

ABSTRACT

Motorways are a strategically important part of a country's infrastructure. High requirements for their condition stipulate regular monitoring of quality of the road surface. The large length of motorways in Russia and the impact of weather and climate conditions (seasonal temperature fluctuations, precipitation) emphasise the relevance of searching for non-destructive testing methods for road diagnostics that ensure short terms of diagnostic work and the use of minimal resources.

The considered existing solutions for detecting road surface damage include the use of ground penetrating radar, laser method, method of analysing vibration effects of road surface irregularities, detection of damage based on lidar data and mobile mapping systems.

The objective of the study was to develop an algorithm for analysing the condition of the road surface that allows detecting road surface distresses based on images obtained during the diagnostics of motorways by the KP-514-RDT airfield and road measuring mobile laboratory completed by the IndorRoad and RDT-Line software packages.

The development of an algorithm for detecting road surface defects was carried out using machine learning methods. The detected defects have precise georeferencing according to stationing of the measured road segment. As a result of development, a trained model was obtained that allows automatic marking of defects of different classes on the image. The developed algorithm is integrated into the software for managing the monitoring of the condition of regional and municipal roads.

Keywords: motorways, road diagnostics, non-destructive testing, artificial intelligence, machine learning, detection of road surface defects.

Funding: the study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies dated September 30, 2022, No. 075-15-2022-1195.

For citation: Rada, A. O., Konkov, N. Yu. Development of an Algorithm for Analysing the Condition of the Road Surface Using Artificial Intelligence. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-5>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The condition of the road surface directly affects the level of road traffic safety [1; 2]. According to statistics from the Scientific Centre for Road Traffic Safety of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, as of the end of 2022, unsatisfactory road conditions, implying the inadequate condition and arrangement of roads and railway crossings, were the cause of 30,5 % of road traffic accidents. The number of people killed in such accidents was 4089, while 48241 were injured [3]. In this regard, an important state task is to ensure measures to maintain roads in conformity with conditions stipulated by standards and regulations.

According to Federal State Statistics Service, the current length of the public road network in Russia is 1575,5 thousand km, of which 64,7 thousand km are federal highways, 503 thousand km are regional or intermunicipal motorways, 1008 thousand km are local motorways. Hard surfaces are absent on 29,2 % of motorways, and less than half of them have improved road pavement that ensures high transit capacity regardless of natural and climatic conditions¹. At the same time, 15,3 % of federal highways², 49,4 % of regional motorways and 46,3 % of local motorways do not meet regulatory requirements³, which can cause road traffic accidents. Consequently, timely detection and diagnostics of road surface damage are of crucial importance for ensuring road traffic safety [4; 5].

According to the requirements of the legislation³, annual diagnostics, inspection and assessment of the technical condition of highways to determine whether the transportation and operational characteristics comply with the requirements of technical regulations are the responsibility of the owner of the motorways. High-quality road monitoring allows us to analyse and predict the service life of a road facility, competently plan future work to bring facilities into compliance with regulatory requirements, distribute financial resources and monitor the work of the general contractor, which will have a positive effect on

improving road traffic safety and reducing mortality from road traffic accidents due to unsatisfactory road conditions.

The extent of motorways in Russia implies a large volume of diagnostic work, which affects the timing and cost of its implementation, which is especially important to consider due to the limited resources of local and regional budgets [6]. Here, the development of more effective and efficient methods for assessing the quality of the road surface becomes relevant.

The implementation of traditional methods for assessing the quality of roads [7] takes a long time, requires a large amount of equipment and numerous specialists, which does not allow us to talk about their efficiency and effectiveness. In this regard, mobile methods of non-destructive testing are of particular importance when conducting diagnostics of road structures, in this case, when performing the study, the object does not lose its original properties, and the work can be completed in a short time, without using a large number of resources.

RESULTS

To formulate requirements for development of an algorithm for analysing the condition of a road surface, an overview of existing solutions for mobile non-destructive testing in the diagnostics of highways has been made.

The article [8] describes in detail one of the methods of non-destructive testing, i.e. diagnostics of highways using ground-penetrating radar (GPR). The ground-penetrating radar method is advisable to use to identify various signs of road surface deformation that are not determined by the method of road surface drilling. The ground-penetrating radar survey is based on the study of the field of high-frequency waves, as well as the difference in rock permittivity. In the case described in paper above, the OKO-2 ground-penetrating radar with an AB-1000R air shielded antenna was attached with a bracket to continuously moving vehicle. The survey was conducted on the example of an operating facility; the results of the analysis of the set of reflected signals in special software helped to identify cracks, distresses, and potholes in the upper layer of the road surface, requiring replacement of the asphalt concrete pavement. This method is effective in solving problems of detecting and identifying roadway defects, but at the same time, interpreting the results of the GPR survey is a complex and labour-intensive process, accessible only to specialists with professional skills in the field of geological research. Besides, the method

¹ Transport. Official statistics: Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>. Last accessed 10.09.2023.

² The length of federal highways. [Electronic resource]: <https://rosavtodor.gov.ru/>. Last accessed 10.09.2023.

³ Federal Law of 08.11.2007 No. 257-FZ «On Highways and Road Activities in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation». [Electronic resource]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/26452>. Last accessed 10.09.2023.



has its constraints: the quality of the obtained survey results may decrease in bad weather conditions (rain, air temperature below -40 and above $+40$ degrees)⁴.

To obtain accurate road geometry and visual description of road defects, it is advisable to use highly detailed spatial data. A technique to obtain such data is to conduct laser scanning of the road. Laser scanning is performed using cameras, laser equipment (lidar⁵ [Light Detection and Ranging]) and navigation devices installed on a vehicle [9]. The laser scanning results in a point cloud representing a digital three-dimensional model of the road. Using a three-dimensional model, it is possible to identify road surface defects and carry out the necessary measurements. Due to the high cost of laser equipment, this method cannot be widely used for diagnostics of regional and local motorways; furthermore, the operation of the lidar is limited in some weather conditions.

In [10], the input data for detecting road defects include point clouds and orthomosaic collected using mobile mapping technology, which involves the use of a Trimble MX9 scanning system installed on the roof of a vehicle. The method included several stages: data collection using mobile mapping, processing of the obtained results, classification of spatial objects for further identification of the location of a specific defect (roadway, bike path, pedestrian zone), visual inspection by the operator of orthomosaic and panoramic images and extraction of the road damage area from them in the form of polygons, lines or points. Each selected image was assigned a unique identifier and attributes, including the defect surface, defect location, location lane number, depth, type, severity level, size and other geometric parameters. Based on the results of the work, a database of road damage was obtained, consisting of shape files with point, linear and polygonal defects.

The mobile mapping method in road diagnostics has many advantages: high scanning speed, allowing not to stop traffic at the surveyed site,

reduction of time and financial costs for field work, a large volume of attribute data for each damage, precise determination of the location of the defect found, the ability to sort the database of found defects. At the same time, the use of this method assumes the work of a trained operator who is able to not only search for, but also classify roadway defects using an image. Automation of damage search in this case requires the use of specialised software.

The task of detecting road surface defects based on laser scanning data without the need for data marking with the participation of an operator is investigated by the author of the article⁶. The goal of the project was to develop an algorithm for automatic detection of road surface defects based on data obtained from a lidar device. The complexity of this approach lies in the large volume of preparatory processes, including preparation of a high-quality point cloud and the selection of a defect search area. Thus, at the first stage, the *db* data format with an embedded binary code was converted to a convenient *csv* format. Then, using the RANSAC algorithm, the data was corrected. To create a high-quality dataset, the obtained point clouds were aligned using the RANSAC algorithm. To minimise potential errors and distortions using the ICP algorithm, two point clouds were combined into one. This made it possible to transform the point cloud into high-quality material for further searching for road surface damage. Defect detection, in particular of deep potholes, was carried out in the selected area with the highest point density. The developed algorithm for finding potholes consisted of determining statistical outliers in distribution of point heights using the DBSCAN clustering method, which allows grouping points defined as «potholes» into separate clusters. Based on the results of all the operations performed, the coordinates of the centre of each cluster were determined, representing the exact location of the road defect. Thus, the work managed to achieve the result in detecting one of the types of damage, i.e. a pothole.

The patent for the invention «Method for diagnosing the smoothness of a road surface» [11] presents a method for assessing the quality of a road surface by analysing the vibration effects of road irregularities during vehicle's movement. This method involves the use of a mobile vibration

⁴ Guidelines for the use of ground-penetrating radars in surveying road structures. [Electronic resource]: <https://pandia.ru/text/77/122/621.php>. Last accessed 23.09.2023.

⁵ Since there are at least seven different casings of this short form for light detection and ranging (see, e.g.: Deering, C. A., Stoker, J. M. Let's Agree on the Casing of Lidar. *LiDAR News Magazine*, 2014, Vol. 4, No. 6. [Electronic resource]: https://lidarmag.com/wp-content/uploads/PDF/LiDARNewsMagazine_DeeringStoker-CasingOfLiDAR_Vol4No6.pdf), a «lidar» is used in the English translation of the article. – *Ed. note*.

⁶ Detecting Road Defects Without Labelled Data: Hackathon, Lidar, Ransac, ICP and 44 Sleepless Hours. [Electronic resource]: <https://habr.com/ru/articles/765230/>. Last accessed 25.02.2024.

measuring complex consisting of vibration sensors installed on the unsprung part of the vehicle, a computing complex, an operator's workstation, power supplies, and a satellite positioning system. In this case, the quality of the road surface is assessed by comparing the amplitudes of the vibration effects of the obtained reference base of road smoothness [evenness] parameters at the certification stage when putting the road into operation and the data of control measurements during operation of the road at the same points on the route. Based on the results of the analysis of changes in the vibration effects parameters, it is possible to identify areas of pavement destruction, formulate recommendations for adjusting the speed limit on the studied segments of the road, and, according to the authors, predict the service life of the road surface. The need for a reference base of road smoothness parameters makes it difficult to use this method for large volumes of work, as it requires increased inventory costs.

The considered non-destructive testing solutions are effective in diagnosing the condition of roads, but do not fully ensure automation of the search for road surface damage, convenient for use by decision makers. Today, tools for automation and increasing the efficiency of obtaining data on the condition of the road surface, developed using artificial intelligence, are gaining popularity and have proven effectiveness.

Diagnostics of roads using artificial intelligence has been widely studied abroad in the last decade [12–17]. In Russia, this topic is represented by the works of S. S. Kravtsov, I. A. Kanaeva, B. V. Sobol, P. V. Vasiliev and other researchers [18–23]. The solutions are based on the method of automatic processing of images obtained using a smartphone, a video recorder installed in a vehicle, or a UAV. This paper demonstrates the process of developing an algorithm for analysing the condition of the road surface, which allows detecting defects in the road surface based on images from an airfield and road laboratory.

Based on the results of the review of existing solutions for mobile non-destructive testing in road diagnostics, the distinctive characteristics of the road surface condition analysis algorithm developed within the framework of this research work have been formed:

- Data collection for assessing the road surface condition when driving at speed (without costly blocking traffic on roads and without the risks associated with work carried out along busy highways with dense traffic).

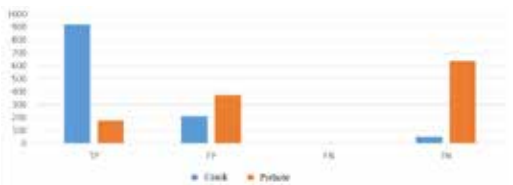
- The use of machine vision to detect damage to the road surface.
- No need to conduct an initial (reference) survey of the road surface condition.
- Accurate georeferencing of the detected defect according to the stationing of the measured road segment.

Development of the algorithm was based on the data obtained within the framework of road certification work using the KP-514-RDT airfield and road laboratory measuring complex in combination with the IndorRoad and RDT-Line software. The frames obtained during the relevant survey were converted with the help of software into a separate flow of photographs of small segments of the roadway of the same dimensions, conditionally connected into a single frame of the entire diagnosed motorway. At the second stage, the optimal architecture of the neural network was determined for solving the problem of finding and segmenting road surface defects; at the third stage, its own training dataset was prepared: 35225 defects were manually identified on 2500 images. The following types of objects were used for marking: cracks, block cracking, potholes, corrugation, depressions, upheaval, shoving, patching, etc.

As a result of machine learning of the used Mask R-CNN neural network architecture, a model was obtained that allows automatic marking of defects of different classes in a photo. The quality of the model was assessed using a dataset that included 1000 photos with defects of two classes: «Cracks» and «Potholes».

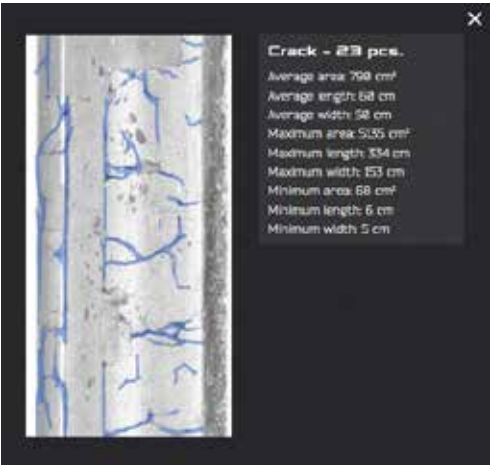
To assess the performance of the model, the «Error Matrix» metric is provided (Pic. 1). The metric is a table with four different combinations:

- 1) TP – True Positive: the model found a defect in the photo where it is present.
- 2) TN – True Negative: the model did not find defects in the photo where there are really no defects.
- 3) FP – False Positive: the model found a defect in the photo where there are no defects.
- 4) FN – False Negative: the model did not find a defect, but it is present in the image.



Pic. 1. «Error Matrix» Metric [developed by the authors].





Pic. 2. The result of the algorithm's operation regarding the «Crack» class [developed by the authors].

From Pic. 1 it is evident that in most cases the model makes a correct classification for the «Crack» class, while for the «Pothole» class the model most often makes a true negative decision.

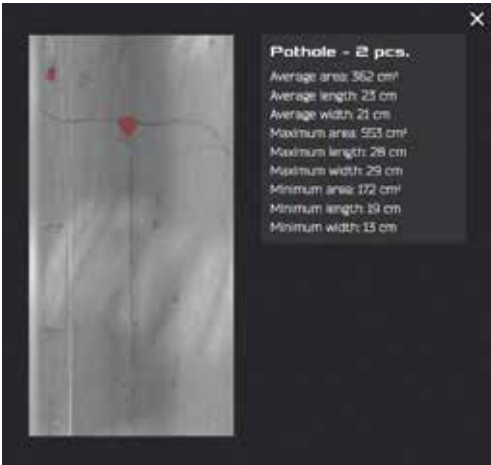
Table 1 also shows the metrics used to evaluate the performance of the algorithm, prepared based on the calculation of the error matrix indicators.

Pics 2, 3 show the results of the algorithm's operation regarding «Crack» and «Pothole» calsses. For each image, the parameters of the area, length and width of the detected damages are determined.

The developed algorithm is integrated into the web application «System for monitoring the condition of housing and communal services' facilities (heating mains, landscaping (lawns, parks, urban forests), buildings (roofing, facades))», in terms of the module for monitoring the condition of regional and municipal roads.

CONCLUSIONS

The development of more efficient and effective methods of non-destructive testing of the quality of roads in the context of limited resources of local and regional budgets is an urgent task. In this context, mobile non-destructive testing methods for road quality are promising, since they allow not to subject the road surface to additional impacts and



Pic. 3. The result of the algorithm's operation regarding the «Pothole» class [developed by the authors].

do not require stopping the traffic flow at the surveyed site.

The reviewed methods of non-destructive testing of the condition of roads do not fully ensure the automation of the search and determination of the parameters of damage to the road surface. Besides, constraints inherent in the considered methods, such as the complexity of interpreting the results, the need for participation of a trained specialist in the interpretation, the requirement for availability of a reference database of road parameters, hinder the possibility of their widespread use, including for making management decisions by responsible persons.

As part of the described research, an algorithm for analysing the condition of the road surface was developed, allowing for automatic detection of road defects based on images obtained during the certification of roads using the KP-514-RDT airfield and road laboratory measuring complex in combination with the IndorRoad and RDT-Line software. No operator work is required when classifying defects and determining their parameters. Damage detection is performed using a trained neural network. The developed algorithm allows for prompt assessing of the current condition of the road without visiting the sites, identifying areas requiring repair, measuring pavement distress parameters and estimating the cost of possible works on current or major repairs.

Table 1

Metrics used to evaluate the performance of the algorithm		
№	Name of the metric	Value
1	Accuracy	0.73
2	Positive predictive value	0.64
3	Sensitivity	1.00
4	Specificity	0.49

REFERENCES

1. Uchaeva, A. A., Gatiyatullin, M. Kh. Road conditions and traffic safety. *Equipment and technology of transport*, 2020, Iss. 2 (17), pp. 9. EDN: SNQXFK.
2. Jiaying Chen, Xiaoming Huang, Binshuang Zheng, Runmin Zhao, Xiuyu Liu, Qingqing Cao, Shengze Zhu. Real-time identification system of asphalt pavement texture based on the close-range photogrammetry. *Construction and*

Building Materials, 2019, Vol. 226, pp. 910–919. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.321.

3. Bakanov, K. S., Lyakhov, P. V., Aisanov, A. S., Isaev, M. M., Nikulin, E. D., Koblov, P. S., Sergunova, A. S., Selednikov, N. V., Naumov, S. B., Knyazev, A. S. Road traffic accidents in the Russian Federation in 2022. Information and analytical review [Dorozhno-transportnaya avariinost v Rossiiskoi Federatsii za 2022 god. Informatsionno-analiticheskiy obzor]. [Electronic resource]: <https://media.mvd.ru/files/embed/4761994>. Last accessed 22.09.2023.

4. Yuchen Wang, Bin Yu, Xiaoyu Zhang, Jia Liang. Automatic extraction and evaluation of pavement three dimensional surface texture using laser scanning technology. *Automation in Construction*, 2022, Vol. 141, 104410. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104410.

5. Xu Yang, Jianqi Zhang, Wenbo Liu, Jiayu Jing, Hao Zheng, Wei Xu. Automation in road distress detection, diagnosis and treatment. *Journal of Road Engineering*, 2024, Vol. 4, Iss.1, pp. 1–26. DOI: 10.1016/j.jreng.2024.01.005.

6. Rada, A. O., Akulov, A. O., Nikitina, O. I. Development of a web application for monitoring highways in the digital management system of a resource-type region. *Ugol*, 2023, Iss. S12, pp. 117–123. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-117-123.

7. Tretyakov, S. A., Popov, I. A. Analysis of methods for determining the evenness of the road surface [Analiz sposobov opredeleniya rovnosti pokrytiya avtomobilnykh dorog]. *Interexpo Geo-Siberia*, 2017, Vol. 1, Iss. 1, pp. 76–80. EDN: YMXPYV.

8. Dormidontova, T. V., Domnin, O. V. Identification of defects, determination of the thickness of the pavement by the georadolocation method. In: *Traditions and innovations in construction and architecture: collection of articles of the 77th All-Russian Scientific and Technical Conference*. Ed. by M. V. Shuvalov, A. A. Pishchulev, V. Y. Alpatov. Samara, SSTU publ., 2020, pp. 126–131. EDN: PWSSTT.

9. Ma, L., Li, Y., Li, J., Wang, C., Wang, R., Chapman, M. A. Mobile Laser Scanned Point-Clouds for Road Object Detection and Extraction: A Review. *Remote Sensing*, 2018, Vol. 10, Iss. 10, 1531. DOI: 10.3390/rs10101531

10. Davidovich, M., Kuzmich, T., Vasich, D., Hiv, V., Brunn, A., Bulatovich, V. Methodology of Detection and Administration of Road Defects Based on Mobile Mapping Data. *Computer modeling in engineering and science*, 2021, Vol. 129, Iss. 1, pp. 207–226. DOI: 10.32604/cmes.2021.016071.

11. Milykh, V. A., Sokolova, O. S., Stepkina, E. Yu. A method for diagnosing the evenness of the pavement surface. Patent for the invention RU 2519002 C2, 10.06.2014. Patent Office: Russia. Application No. 2012138844/03 dated 10.09.2012. [Electronic resource]: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002519002_20140610_C2_RU/. Last accessed 21.02.2024.

12. Munawar, H. S., Hammad, A. W. A., Haddad, A., Soares, C. A. P., Waller, S. T. Image-Based Crack Detection Methods: A Review. *Infrastructures*, 2021, Vol. 6, Iss.8, p. 115. DOI: 10.3390/infrastructures6080115.

13. Song, W., Jia, G., Zhu, H., Jia, D., Gao, L. Automated Pavement Crack Damage Detection Using Deep Multiscale Convolutional Features. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, Vol. 2020, Iss.1. DOI: 10.1155/2020/6412562.

14. Pan, Y., Zhang, X., Cervone, G., Yang, L. Detection of Asphalt Pavement Potholes and Cracks Based on the Unmanned Aerial Vehicle Multispectral Imagery. *IEEE*

Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2018, Vol. 11, Iss. 10, pp. 3701–3712. DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2865528.

15. Iraldi, F., Al Maki, W. F. Damage Classification on Roads Using Machine Learning. 2021 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA). Bandung, Indonesia, 2021, pp. 151–156. DOI: 10.1109/ICoDSA53588.2021.9617520.

16. Minh-Tu Cao, Quoc-Viet Tran, Ngoc-Mai Nguyen, Kuan-Tsung Chang. Survey on performance of deep learning models for detecting road damages using multiple dashcam image resources. *Advanced Engineering Informatics*, 2020, Vol. 46, 101182. DOI: 10.1016/j.aei.2020.101182.

17. Silva Vaz, E., Gasparello, L. F., Gouveia, L. T., Senger, L. J. Detecting damage in roads using convolutional neural networks. *Iberoamerican Journal of Applied Computing*, 2023, Vol. 11, Iss. 1, pp. 1089–1098. DOI: 10.1109/BigData.2018.8621899.

18. Mokrushin, N. Yu., Speransky, D. V., Chudinov, S. A. Automated detection of defects on the roadbed using convolutional neural networks. In: *Effective response to modern challenges taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental problems of the forest complex: proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference*. Yekaterinburg, ULSTU, 2024, pp. 489–494. [Electronic resource]: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/12844/1/konf_24_087.pdf. Last accessed 21.02.2024.

19. Vasiliev, P. V., Senichev, A. V. Application of neural network technologies in the problem of control of surface defects. *Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Series: Technical Sciences*, 2020, Iss. 1 (205), pp. 33–40. DOI: <http://dx.doi.org/10.17213/1560-3644-2020-1-33-40>.

20. Sobol, B. V., Soloviev, A. N., Vasiliev, P. V., Podkolzina, L. A. Deep convolution neural network model in problem of crack segmentation on asphalt images. *Vestnik of Don State Technical University*, 2019, Vol. 19, Iss.1, pp. 63–73. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-1-63-73.

21. Kanaeva, I. A., Ivanova, Yu. A., Spitsyn, V. G. Deep convolutional generative adversarial network-based synthesis of datasets for road pavement distress segmentation. *Computer Optics*, 2021, Vol. 45, Iss.6, pp. 907–916. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-844>.

22. Kravtsov, S. S., Chantieva, M. E. Automatic road damage detection with convolutional neural networks. *Colloquium-journal*, 2022, Iss. 3 (126), pp. 42–47. DOI: 10.24412/2520-6990-2022-3126-42-47.

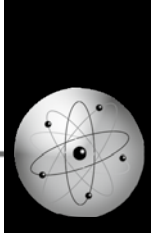
23. Misyurina, I. A., Yakimov, P. Yu. Detection of pavement damage in the video stream of an automobile registrar. In: *Information technologies and nanotechnologies (ITNT-2023): collection of works based on the materials of IX International Conference and Youth School (Samara, April 17–23, 2023): in 6 volumes*. Ministry of science and higher education of the Russian Federation, Samara National Research University n.a. S. P. Korolev (Samara University), Image Processing Systems Institute of RAS – a subsidiary of Federal Research Centre «Crystallography and Photonics» of RAS. Vol. 4: Artificial intelligence. Ed. by A. V. Nikonorov, Samara, Publishing house of Samara University, 2023, 040382. [Electronic resource]: <http://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/Obnaruzhenie-povrezhdenii-dorozhnogo-pokrytiya-v-videopotoke-avtomobilnogo-videoregistratora-10572>. Last accessed: 27.05.2024. ●

Information about the authors:

Rada, Artem O., Director of the Institute of Digital Science of Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, rada.ao@kemsu.ru
Konkov, Nikolay Yu., Head of the R&D Department of the Institute of Digital Sciences of Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, n.konkov@i-digit.ru.

Article received 18.02.2024, updated 27.05.2024, approved 31.05.2024, accepted 31.05.2024.





Improving Locomotive Traction and Adhesion Properties by Improving the Undercarriage



Andrey S. KOSMODAMIANSKY



Vladimir I. VOROBYOV



Oleg V. IZMEROV



Evgeny V. NIKOLAEV



Dmitry N. SHEVCHENKO

Andrey S. Kosmodamiansky¹, Vladimir I. Vorobyov², Oleg V. Izmerov³, Evgeny V. Nikolaev⁴, Dmitry N. Shevchenko⁵

^{1, 4, 5} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

^{2, 3} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia.

¹ ORCID 0000-0002-7835-3039; Russian Science Citation Index Author ID 353032.

² ORCID 0000-0003-2897-1557; Russian Science Citation Index Author ID 1063042.

³ ORCID 0000-0002-8450-6206; Russian Science Citation Index Author ID 57193738041.

⁴ RINC Author ID 1189501.

⁵ ORCID 0000-0003-2941-6424; Russian Science Citation Index Author ID 941016.

✉ ¹ askosm@mail.ru.

ABSTRACT

The study considers the issue of increasing traction properties of freight locomotives under the conditions of the Eastern Polygon, the eastern part of the Russian railway network. The analysis results have allowed identifying design factors influencing the adhesion properties of locomotive and suggesting an extended classification of methods for improving the adhesion properties by selecting rational design solutions for the undercarriage.

It is established that for unified three-axle bogies of domestic freight diesel locomotives, the factors leading to a decrease in the adhesion coefficient in operation include a significant base length, unbalanced spring suspension and insufficient rigidity of the body supports resting on the bogie with the upper location of the kingpin, while for bogies of electric

locomotives with brushless traction electric motors they include a rigid connection of the engine rotor with the wheelset, leading to the occurrence of high dynamic torques. It is proposed to use balanced pneumatic spring suspension and increase the rigidity of rubber-metal supports as measures for modernisation of diesel locomotive bogies, and for the prospective unified undercarriage of diesel and electric locomotives – to refuse from placing the fuel tank under the body and to use two-axle bogies with a frame-support traction drive with an axial gearbox, or with an axle-support drive of the aggregate type, having an elastic coupling, damping dynamic loads. The obtained results give grounds to believe that these measures will increase the coefficient of adhesion during operation from 0,27 to 0,3... 0,33.

Keywords: railway transport, locomotive traction, wheel – rail adhesion, undercarriage, adhesion improvent, locomotive traction drive.

For citation: Kosmodamiansky, A. S., Vorobyov, V. I., Izmerov, O. V., Nikolaev, E. V., Shevchenko, D. N. Improving Locomotive Traction and Adhesion Properties by Improving the Undercarriage. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 190–210. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-6>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

The main requirement for locomotives for the Eastern polygon [or eastern part of the Russian railway network], which includes the Baikal-Amur and Trans-Siberian Mainlines, is the ability to haul trains weighing 7100 tons, which is possible «in case of implementation of... a traction force of at least 431 kN» [1] in a single locomotive unit, or 862 kN for a double-unit diesel locomotive. A traction force close to this indicator (786 kN) was established for 2TE137 diesel locomotive, built in 1985. Increasing the traction force to 862 kN, or by 10 %, implies bringing the calculated adhesion coefficient to 0,29. However, according to [1], «many years of experience of operating 2TE25A diesel locomotives... with an asynchronous traction drive on the on Baikal-Amur mainline has not confirmed the possibility of implementing a traction coefficient of 0,29, laid down in the technical specifications for this locomotive in all operating conditions of this mainline at a design speed of 18,5 km/h». On the other hand, the calculated adhesion coefficient of 0,29...0,32 was previously implemented on diesel TGM3 and TGM4 locomotives with hydraulic transmission, and currently on the Gravita 10BB diesel locomotives from Voith, Austria and G2000 BB from Vossloh, Germany (0,33). Thus, it is clearly premature to draw a conclusion about the possibility of implementing traction force under adhesion conditions only based on the results of operating one locomotive, without considering its design features (undercarriage, control systems, in particular, anti-skid [anti-slip] systems).

In locomotives with hydraulic transmission, where all wheelsets are mechanically connected to each other, the torque redistribution along the axles during the locomotive's movement occurs in accordance with the value of elastic slip of the wheels on the rails, and, thus, each of the axles, with a total traction force close to the adhesion limits, develops a traction force corresponding to the maximum possible for a given axle. In locomotives with electric axle drive and separate axle control, including those with brushless traction electric motors (TEM), the connection between elastic slip and axle traction force is mediated by a control system that imposes restrictions (slip measurement accuracy, slip threshold values at which the system is triggered, rigidity of the electromechanical characteristics of TEM, inertia of the control system, slip optimisation algorithms, etc.).

Thus, for locomotives with brushless TEM, the problem of choosing solutions for design of

the locomotive undercarriage that ensures maximum use of wheel – rail adhesion for all axles remains relevant. The proposed article is an attempt to solve this problem.

RESULTS

Analysis of the Problem

Pic. 1 shows the classification of methods for improving the adhesion properties by changing the design of the undercarriage proposed by the authors. As can be seen from the classification, all factors that affect the adhesion coefficient and at the same time depend on the design of the undercarriage can be divided into three groups: kinematic, static and dynamic factors.

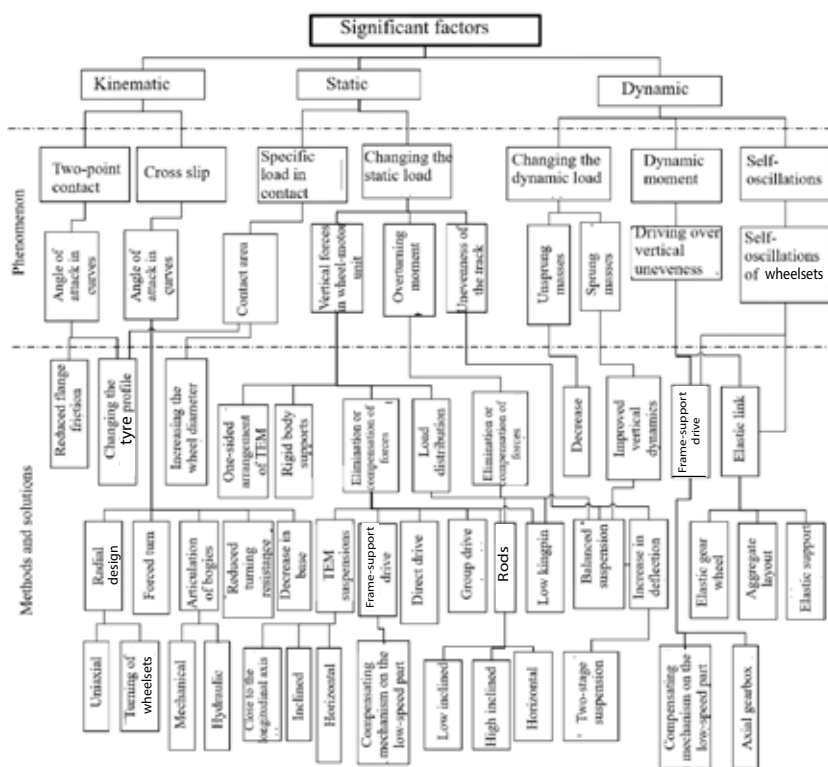
Kinematic factors

Kinematic factors include those that depend on the speeds of the elements of the wheel – rail system when moving in traction mode. This is the presence of a two-point contact of the wheel with the rail and the transverse component of the sliding of the wheelset. Both factors manifest themselves in curved sections of the track, where a decrease in the coefficient of adhesion is observed depending on the radius of the curve. It is known that when starting off in a curve, the decrease in traction can be 40 ... 50 %, however, this is explained not only by the two-point contact, but also by the redistribution of the load on the wheels.

Two-point contact of the wheel with the rail is the contact of the wheel with the flange of the side surface of the rail head. Since the contact surface on the flange lies on a wheel radius greater than the tread surface, this increases wheel slippage and, accordingly, reduces the traction limit with regard to adhesion (in practices – when passing curved sections of the track). This problem is partially solved by reducing friction between the flange of the wheel and the rail surface using lubrication, as well as by attempts to change the profile of the wheels. The purpose of these measures is to reduce the wear of the surfaces of the wheel and rail. But as far as the question of changing the profile of the wheel is concerned, the article by I. Pukhov «Between the wheel and the rail. The profile of the wheel affects its wear»¹ denotes a «crisis of ideas», although the possibility of a comprehensive solution to this problem is not

¹ Pukhov, I. Between the wheel and the rail. The profile of the wheel affects its wear. *Gudok*, Iss. 207 (26346) 22.11.2017.





Pic. 1. Classification of methods for improving adhesion properties by changing the design of the undercarriage, proposed by the authors of the article.

denied. Without going into the complexity of this problem, it can be concluded that when designing the undercarriage, the influence on this factor will mainly consist in providing for the possibility of placing flange lubrication devices, and this usually does not cause difficulties. The reduction in the probability of wheel contact with the flange in curves directly depends on the angle of the attack of the rail by the wheel, which will be discussed below.

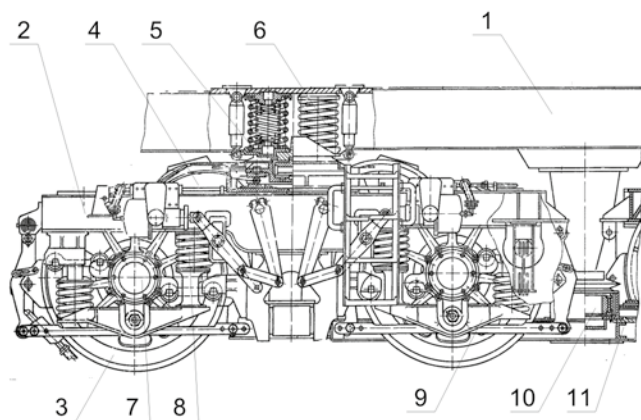
According to data [2], a significant decrease in the adhesion coefficient for electric locomotives is observed in curves less than 500 m, and for diesel locomotives – in curves less than 800 m. This difference indicates the influence of the angle of the attack of the rail by the wheel, since the base of a two-axle bogie of cargo electric locomotives is about 3,0 m, and of three-axle bogies of freight diesel locomotives – 3,7...4,4 m. It is known that on the Eastern polygon, curves with a radius of less than 650 m make up 40 %, and less than 350 m – 56 % of the general network values [3]. This means the need to tighten the requirements for locomotives for the Eastern polygon to improve the horizontal

dynamics of the vehicle in curves, considering not only compliance with permissible levels of impact on the track, but also the maximum implementation of the adhesion properties of the locomotive.

Reducing the angle of wheel – rail attack in curves refers to measures to reduce the impact on the track in curves and is implemented in the following ways:

- reducing the bogie base;
- reducing the resistance to bogie rotation;
- articulating bogies;
- using a mechanism for radial positioning of wheelsets in curves;
- forced rotation of bogies of wheelsets.

Reducing the bogie base is achieved both by reducing the distance between the axles and by using bogies with a smaller number of axles. The base of two-axle bogies of domestic cargo electric locomotives is 2900 ... 3000 mm, while for foreign electric locomotives it is smaller – 2600 ... 2900 mm. The dimensions of the base of a two-axle bogie is limited by two factors: the layout conditions (primarily the possibility of placing TEM) and the stability of movement in



Pic. 2. Bogie of TE136 diesel locomotive: 1 – body frame; 2 – bogie frame; 3 – wheelset; 4 – TEM; 5 – support and return devices; 6 – second stage of spring suspension; 7 – axle box; 8 – axle box stage of spring suspension; 9 – balance beam; 10 – kingpin assembly; 11 – low-mounted frame [9].

straight sections of the track. The minimum base of two-axle bogies of domestically built locomotives with a design speed of 100 km/h with a wheel diameter of 1250 mm is 2250 mm (TE136 diesel locomotive), with a wheel diameter of 1050 mm – 2100 mm (TEM7 diesel locomotive).

As can be seen from Pic. 2, the bogie of 2TE136 diesel locomotive uses a counter arrangement of six-pole collector TEM with a significant diameter. The reduction in the base under these conditions was achieved due to the connection of the bogie by a kingpin to a low-positioned intermediate frame, and because the TEM rests on the kingpin beam from above. Such a compact arrangement can be achieved by using horizontal or inclined rods to transmit force to the body.

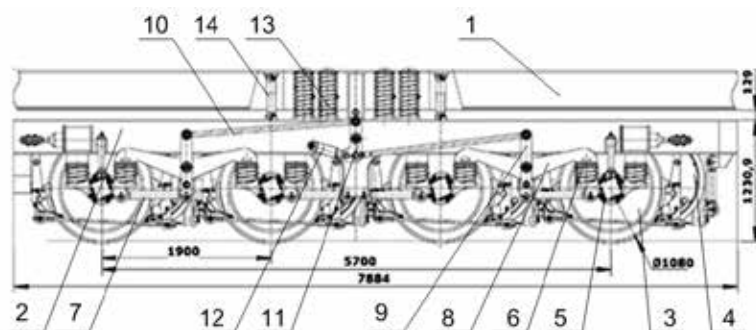
Reducing the resistance to turning of the bogies facilitates the transition from the setting of the greatest tilt to the dynamic setting as the speed increases, which is accompanied by a decrease in the angle of attack. This is achieved by using measures to increase the stability of the bogie in straight sections of the track (introduction of transverse gaps in the kingpin, replacement of friction dampers of transverse oscillations of the bogie with hydraulic ones).

The articulation of the bogies results in the fact that the bogie in front part of the locomotive, turning when entering a curve, turns the rear bogie in the opposite direction, thereby reducing the angle of attack of the wheel of the guide wheelset of the rear bogie. At the same time, the rigid mechanical articulation of the bogies, used on the first domestic electric locomotives (for example, of VL8 series), leads to deterioration

of the horizontal dynamics of the undercarriage on straight sections of the track, due to an increased tendency to wobble. The experimental use of elastic articulation of bogies on TE7 diesel locomotive and VL80 electric locomotive [4] showed that on TE3 diesel locomotive the articulation provides a significant effect when moving in a curve of a radius of 300 meters (a decrease in the quasi-static component of frame forces by 58 % at a speed of 10 km/h and setting the greatest skew), in a curve of a radius of 600 meters the articulation does not provide a significant decrease in the quasi-static component of frame forces, and the greatest decrease in the quasi-static component was obtained with hydraulic articulation of bogies. At the same time, the maximum frame forces remained at the same level due to an increase in the dynamic component. On VL80 electric locomotive, mechanical articulation of bogies also showed a decrease in the quasi-static component of frame forces and an increase in the dynamic component. It was concluded that articulation of bogies can be used for locomotives with increased axle load. Later, hydraulic articulation of bogies was experimentally applied on 2TE121 diesel locomotive [5]. As a result of the research, it was established that the hydraulic articulation works satisfactorily only with a kingpin fixed in the transverse direction, therefore, other methods of connecting the bogie to the body were recommended for the serial version.

Radial design of wheelsets («РУКР» / RDWS) was used on the three-axle bogie of JSC VNIKTI, installed on the domestic 2TE25a diesel locomotive. Research using the modelling





Pic. 3. Four-axle bogie with RDWS: 1 – main frame; 2 – bogie frame; 3 – wheelset; 4 – TEM; 5 – axle box; 6 – axle box stage of spring suspension; 7 – axle box guide; 8 – balance beam; 9, 11 – levers; 10 – traction rod; 12, 14 – dampers; 13 – second stage of spring suspension [7].

method, conducted at BSTU [6] showed that due to RDWS, «in a curve with a radius of 600 m, the work of friction forces on the ridge is less by 2,8 ... 2,14 times, and on the tread surface – by 3,2 ... 2,9 times. Similar results were obtained for the total work of friction forces in curves with radii of 300, 600 and 1000 m». This clearly indicates the possibility of improving the adhesion properties compared to bogies with the same base. Abroad, General Motors and General Electric developed self-steering three-axle bogies with radial design in 1993–95: the HTCR bogie for SD70 series locomotives (GM) and the bogie for AC4400CW series locomotives and later Evolution versions (GE).

JSC VNIKTI also developed a four-axle bogie with RDWS (Pic. 3), which was supposed to be used on the designed 2TE35a diesel locomotive of JSC Sinara for the Eastern polygon. According to JSC VNIKTI², the impact of such a bogie on the track in curves should correspond to the impact of the three-axle bogie of the 2TE116 diesel locomotive.

A special case of a bogie with radial design of wheelsets can be a four-axle bogie with slave axles. As indicated in [4], the front wheelset in such bogies in the direction of travel can even have a negative angle of attack, but this requires that the characteristics of the return devices change depending on the radius of the curve and the unquenched centrifugal force, which requires making them controllable. In this regard, three-axle bogies with an intermediate frame are indicated as a preferred design in [4].

² Lunin, A. A., Spirov, A. V. On the directions of development of rolling stock. Presentation of JSC VNIKTI 30.08.2019. [Electronic resource]: https://www.railwayexpo.ru/images/docs/2019/presentation/ДЕНЬ_3_30_августа/ЗАЛ_2/10-00_6-й_международный_форум/Сессия_1/1.7_А_Луни_А_Спиров_RU.pdf. Last accessed 27.12.2023.

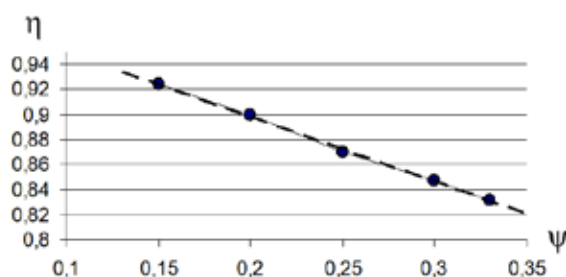
An example of practical implementation of a chassis with forced axle rotation is the Integral diesel train from Jenbacher (Austria) with single-axle bogies. This design has not received further development. In domestic practices, work has been carried out to create systems for forced rotation of industrial locomotives' bogies on steep curves, but it is too early to talk about the possibility of using such systems on mainline locomotives.

From the analysis of kinematic factors it follows that the simplest technical way to reduce lateral sliding in curves and at the same time reduce the probability of two-point contact is the maximum reduction of the bogie base, that is, the use of two-axle bogies with a base of 2250...2600 mm.

Static factors

The static factors in the classification include those that are determined by the interaction forces of the wheel and rail and that change little over a period of time corresponding to the period of the undercarriage's own vertical and horizontal oscillations in motion.

First, the static factors include the specific contact load, which depends on the contact area and can be changed in two ways: by increasing the wheel diameter and by changing the tyre profile. The problematic nature of finding a rational tyre profile has already been discussed above. As for changing the tyre diameter, according to VNIIZhT, in [2] it is predicted that increasing the wheel diameter from 1050 to 1250 mm will lead to an increase in the adhesion coefficient by 4 %, with reference to the research of K. Kraft [7]. K. Kraft's conclusion has not been tested under the conditions of domestic railways. Indirect argument in his favour is associated with the higher average statistical coefficient of adhesion of electric locomotives with wheels of



Pic. 4. Change in the coefficient of use of the adhesion weight η depending on the traction coefficient ψ for the bogie of 2TE116 diesel locomotive, standard version [9].

1250 mm diameter, compared to diesel locomotives with wheels of 1050 mm (which is also explained by the lower probability of pollution of the track with oil products and the smaller base of the bogies), as well as the higher adhesion properties of 2TE121 diesel locomotive with wheels of 1250 mm. In addition, an argument in favour of using wheels of 1250 mm diameter on locomotives with increased traction force per axle is that for wheels with tyres this increases the reliability of the fit of the tyre on the wheel centre (on diesel locomotives in the USA with wheels of 1050 mm diameter, wheels without tyres are used).

A more specific static factor is the change in the static axle load when the locomotive is moving in traction mode. Redistribution of the axle load may occur for the following reasons:

- the presence of vertical components of forces in the wheel-motor units in traction mode;
- the presence of an overturning moment due to the fact that the traction force is transmitted by coupling devices above the level of the rail head;
- moving over vertical irregularities of the track.

Separately, it is necessary to mention the hypothesis put forward in [2] about the influence of uneven distribution of loads on the wheels of the wheelset with one-sided traction transmission. As shown by the results of studies not included in [8], when the locomotive is moving in the coasting mode, there are tangential stresses in the axles of the wheelset caused by a torque that changes randomly depending on the position of the wheelset in a straight line, the cause of which is the difference in the diameters of the wheels corresponding to the points of contact of the wheel and the tyre. Due to the conicity of the wheel tyre profile, this difference changes depending on the position of the wheel in a straight line. In the traction mode, approaching maximum traction force with regard to adhesion,

the magnitude of the tangential stresses becomes constant, which contradicts the hypothesis [2], since otherwise the force would change randomly due to a random change in the tangential rigidity of the wheel – rail contact.

Reduction of vertical forces can be achieved by the following methods:

- elimination of bogie frame rotation in the vertical plane by using rigid body supports on the bogie;
- one-sided arrangement of TEM in three-axle bogies, which leads to contrary directions of forces applied to the bogie frame through the traction motor suspensions located on different sides of the rotation axis in the vertical plane;
- compensation of forces in two-axle bogies by locating TEM suspension points to the rotation centre;
- use of traction drives that do not create uncompensated reaction forces in the vertical plane;
- compensation of vertical forces by reducing the distance between the point of force transfer from the bogie to the body and the level of the rail head, which can also be used to compensate for the overturning moment.

As studies have shown [9], the coefficient of use of the adhesion weight for the three-axle bogie of 2TE116 diesel locomotive in the range of traction coefficient changes from 0,15 to 0,33 changes almost linearly (Pic. 4).

According to calculations [9], for the standard version of 2TE116 diesel locomotive bogie with $\psi = 0,33$, the value of $\eta = 0,832$. Changing the design of the bogie gave the following results:

- reducing the static deflection of the bogie supports from 20 mm to zero (installing rigid supports) increases η from 0,832 to 0,869 due to the elimination of rotation of the bogie frame in the vertical plane;
- the use of balanced spring suspension in combination with rigid supports increases η from



0,832 to 0,922 due to the uniform distribution of loads along the axles of the bogie;

– the use of a frame-support drive with a transmission mechanism on the high-speed part of the transmission, eliminating the vertical component of the forces from the traction drive, but with an unbalanced spring suspension, increases η from 0,832 to 0,902, that is, increases η compared to a axial-support drive from 0,869 to 0,902; when using a frame-support drive with an axial reducer, due to the vertical forces in the reaction rods, η with a three-axle bogie worsens to 0,848.

The need to use a one-sided arrangement of TEM on a three-axle bogie was also confirmed (the counter arrangement reduced η from 0,832 to 0,79 even with rigid supports).

Thus, for a multi-axle bogie in a rigid frame, it is advisable to use a balanced spring suspension, including due to the uneven load on the axles, which is also stated in [9]. In this case, a balanced suspension in the axle box stage is equivalent in its dynamic qualities to an unbalanced suspension with a greater static deflection, since the change in axle load when passing a vertical unevenness is redistributed across the other axles of the bogie. In practice, this makes it possible to abandon the second suspension stage, at least for locomotives with a design speed of up to 120 km/h. In fact, a balanced single-stage suspension was also used on TEP60 passenger diesel locomotive with a speed of up to 160 km/h, since the body rested on the bogie through pendulum supports with rubber cones that had an insignificant static deflection, and the springs between the bogie and the body participated only in the lateral rolling process.

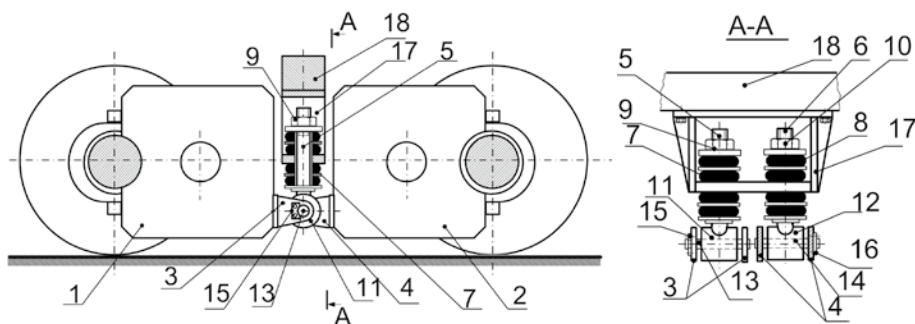
Also, for a multi-axle bogie in a rigid frame, the coefficient of utilisation of the adhesion weight can be increased by using frame-support traction drives with a compensating mechanism on the low-speed part of the drive (which was implemented on the experimental diesel locomotive TE120), as well as a direct traction drive, in particular, an axial-support drive with a horizontal arrangement of the reactive traction, transmitting forces from the stator to the bogie. At the same time, the presence of a radial design of wheelsets complicates the possibility of implementing a frame-support drive due to the occurrence of movements of the outer wheelsets in the horizontal plane, and the use of a direct axial-support drive requires elastic support of TEM on the axle or wheel centres to reduce the unsprung mass.

For two-axle bogies, as a rule, a counter arrangement of the traction motor is used, which allows reducing the moment of inertia of the bogie in the vertical and horizontal planes. In this case, the main way to increase the coefficient of use of the adhesion weight is to compensate for vertical forces and the overturning moment by reducing the level of the point of application of the traction force transmitted from the bogie to the body using a low-positioned kingpin (including a low-positioned intermediate frame), or horizontal or inclined rods.

The use of inclined rods, the direction of which passes through the middle of the longitudinal base of the bogie at the level of the rail heads, allows for full compensation of traction load changes on wheel pairs in one bogie and ensures the value of the coefficient of use of the adhesion weight $\eta > 0,92$ with a soft two-stage spring suspension, which determines the widespread use of inclined rods as devices for transmitting traction force from the bogie to the body in modern locomotives. Low-mounted kingpins compensate for the decrease in traction force to a lesser extent.

In modern locomotive designs, inclined rods acting on compression and tension are used. Rods acting only on tension are not used in new locomotives, as are horizontal rods. In this case, the inclined rods are directed towards the nearest automatic coupling device, as a result of which the front bogie of the locomotive is additionally loaded with the vertical component of the reaction force from the traction side, and the rear one is unloaded, and this compensates for the bogie-by-bogie change in load from the action of the overturning moment caused by the traction force applied at the level of the automatic coupling device.

For two-axle bogies of shunting locomotives with single-stage spring suspension, one of the measures to reduce the uneven distribution of the axle load may be the location of TEM suspensions on the axis passing through the centre of gravity of the bogie. The version of such a device proposed by the authors is shown in Pic. 5. During transverse and angular movement of TEMs 1 and 2, rods 5 and 6 of the suspensions tilt due to the mobility of hinges 11 and 12 and sets of rubber washers 7 and 8. When the traction force is applied, in vertically located rods 5 and 6, counter-directed forces arise, which are transmitted to the crossbeam 9. Since hinges 11 and 12 are located on the same axis, the forces



Pic. 5. Arrangement of TEM suspensions on an axis passing through the bogie's centre of gravity. 1, 2 – TEMs; 3, 4 – brackets; 5, 6 – rods; 7, 8 – rubber washers; 9, 10 – nuts; 11, 12 – hinges; 13, 14 – shafts; 15, 16 – strips; 17 – crossbeam; 18 – bogie frame [10].

in rods 5 and 6 are directed in opposite directions and are applied to the same crossbeam 9, as a result of which the indicated forces mutually compensate each other and do not create a redistribution of loads along the axes. The authors received a patent for a utility model for the proposed design [10].

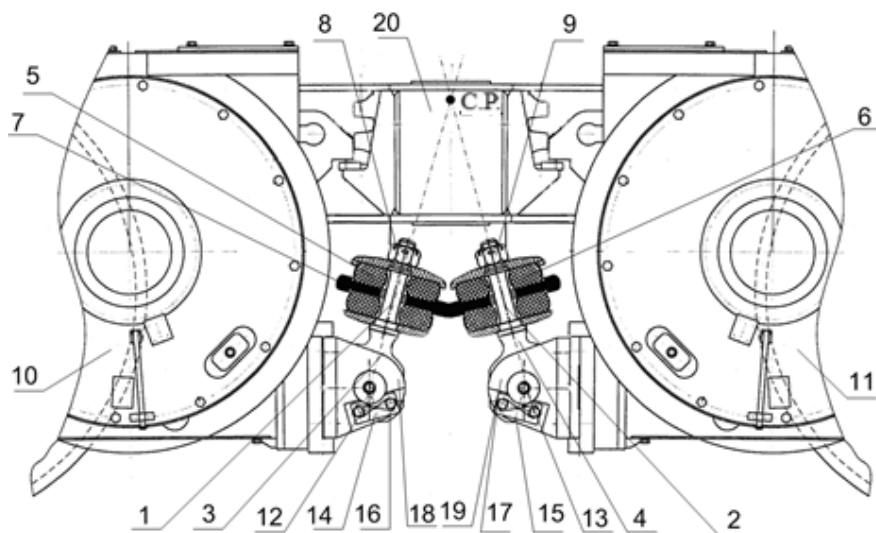
For shunting diesel locomotives with asynchronous TEM and rigid gear transmissions (for example, TEM23), the authors proposed a design in which suspensions, including hinges and flat shock absorbers that dampen impacts when passing track irregularities, are attached to a trough-shaped crossbeam (Pic. 6). A patent for a utility model was also received for this design [11].

With an unbalanced spring suspension, passing short irregularities without taking into

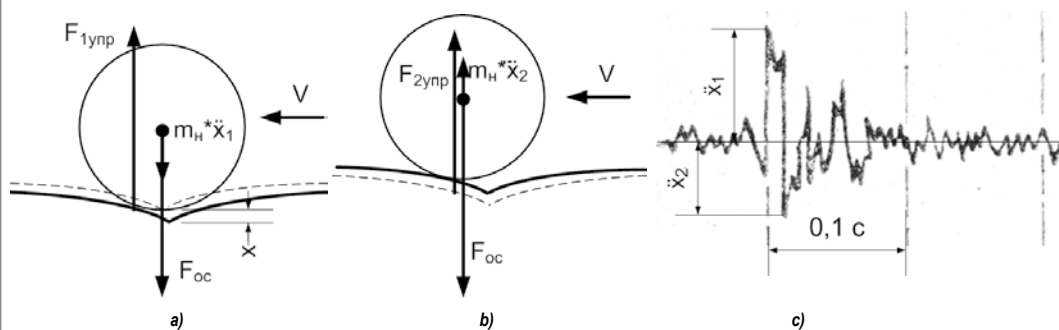
account the vibrations of the over-spring structure can be considered a quasi-static process leading to a redistribution of loads along the axles. A reduction in the influence of this factor can be achieved using the above-mentioned balanced spring suspension or by increasing the overall static deflection of the spring suspension.

It should be noted that both ways (single-stage balanced spring suspension and two-stage suspension with traction force transmission by inclined rod) allow to achieve approximately the same values of η . Thus, for the bogie of TEM21 diesel locomotive with inclined rod and two-stage suspension $\eta = 0,921$, for the bogie of 2TE121 diesel locomotive with balanced single-stage spring suspension $\eta = 0,92$.

A separate issue is the feasibility of using a group [operation] drive for electric locomotives



Pic. 6. Device for fastening the locomotive traction motor to the bogie frame: 1, 2 – suspensions; 3, 4 – hinges; 5, 6 – sets of flat elastic elements; 7 – crossbeam; 8, 9 – nuts; 10, 11 – traction electric motors; 12, 13 – shafts; 14, 15 – locking strips; 16, 17 – bolts; 18, 19 – brackets; 20 – bogie centre of gravity [11].



Pic. 7. Changes in axial load during oscillations of unsprung masses:
a) deformation of the joint immediately after the wheel passes; b) return to the initial position;
c) approximate graph of accelerations of the unsprung mass [diagram is made by O. V. Izmerov].

and diesel locomotives with electric transmission. On the one hand, mechanical articulation of the axles compensates for uneven distribution of adhesion properties within the bogie, which simplifies the control of traction force. On the other hand, such a drive requires an increase in the power of TEM used and complicates the repair of the undercarriage. In connection with these circumstances, the use of a group drive in the near future makes sense primarily for industrial locomotives with lower TEM power, and therefore the effect of a group drive on increasing the adhesion coefficient is not considered in this article.

Dynamic factors

In the classification, dynamic factors include those that are determined not only by the geometric dimensions, static forces and displacement values of the structural elements, but also by the mass of the elements and the elastic-dissipative properties of the connections between them. Dynamic factors are divided into groups corresponding to the phenomena that cause their manifestation:

- the presence of a dynamic (variable) component of the axial load when moving over uneven track;
- the presence of a dynamic component of torque in the shaft lines of the traction drive;
- the development of frictional self-oscillations when the wheelset slides along the rails.

The dynamic component of the axial load, in turn, consists of dynamic forces during oscillation of unsprung and sprung masses.

We will consider the effect of oscillations of unsprung masses on the adhesion properties using the example of a wheelset passing a joint unevenness (Pic. 7).

After the wheelset passes the bend angle in the joint (Pic. 7 a), the vertical component of the unsprung mass speed instantly changes, and the kinetic energy of the unsprung mass must be compensated by converting it into potential energy of deformation of the track superstructure by the value x and thermal energy due to friction in the track superstructure at the specified dynamic deformation. In this case, an acceleration of the wheelset \ddot{x}_1 occurs, directed upward, as a result of which the maximum total force of the wheelset load on the rails will be (when representing the load of the sprung masses as quasi-static):

$$F_{sum1} = m_s g + m_u (g + \ddot{x}_1) = F_{ax} + m_u \ddot{x}_1, \quad (1)$$

where $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – acceleration of gravity;

m_s – the amount of sprung mass per axle,

m_u – the amount of unsprung mass per axle,

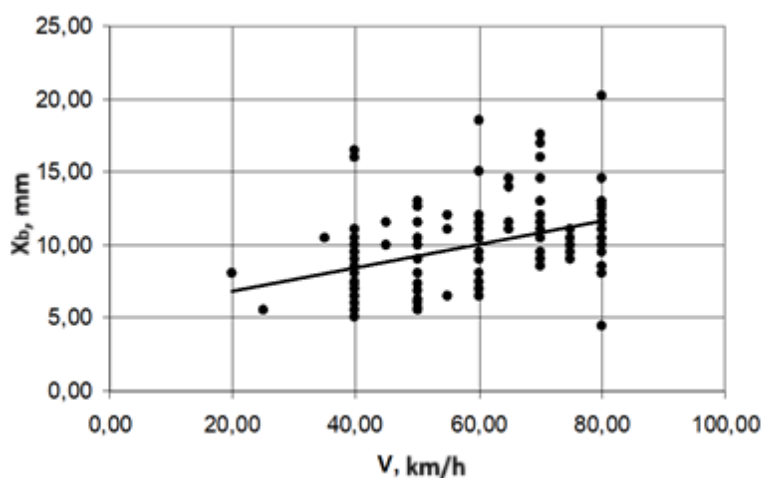
\ddot{x}_1 – maximum acceleration upon impact (Pic. 7 c),

F_{ax} – static axle load.

After the vertical component of the wheelset speed has been compensated, the track superstructure, under the action of elastic forces, tends to return to its original position, imparting a vertical speed directed upward to the wheelset, and the potential energy of the deformed superstructure is converted into the kinetic energy of the unsprung mass. After the track superstructure returns to the position corresponding to the deformation under static load, the upward movement of the wheelset slows down due to the action of the axial load (Pic. 7 b), and the force of the wheelset load on the rail will be:

$$F_{sum2} = m_s g + m_u (g - \ddot{x}_2) = F_{ax} - m_u \ddot{x}_2, \quad (2)$$

where \ddot{x}_2 – maximum acceleration during the negative half-period of oscillations of unsprung masses after impact (Pic. 7 c).



Pic. 8. Maximum vertical displacements of the axle box relative to the bogie frame of the 2TE121-011 diesel locomotive, Vorkuta – Sosnogorsk section [according to data obtained by O. V. Izmerov].

Thus, the dynamic unloading of the wheelset by the value $m_u \cdot \ddot{x}_2$ occurs. Due to the dissipation of energy during deformation of the track superstructure $\ddot{x}_2 < \ddot{x}_1$. The values \ddot{x}_2 have not been studied to date, but it can be stated that \ddot{x}_2 , on average, will be proportional to \ddot{x}_1 , and its value for a single joint unevenness will depend on the nonlinearity of the rigidity characteristic of the track superstructure, the degree of dissipation of the energy of oscillations of unsprung masses and the presence of other forms of oscillations of unsprung masses. As a first approximation, it can be assumed that $\ddot{x}_2 = 0,75 \cdot \ddot{x}_1$. Thus, for the 2TE25a diesel locomotive at $\ddot{x}_1 = 50 \text{ m/s}^2$, $m_u = 3900 \text{ kg}$ and $F_{ax} = 245 \text{ kN}$, we obtain a minimum value of the dynamic axle load of about 100 kN, or a decrease of up to 0,41 from the average value.

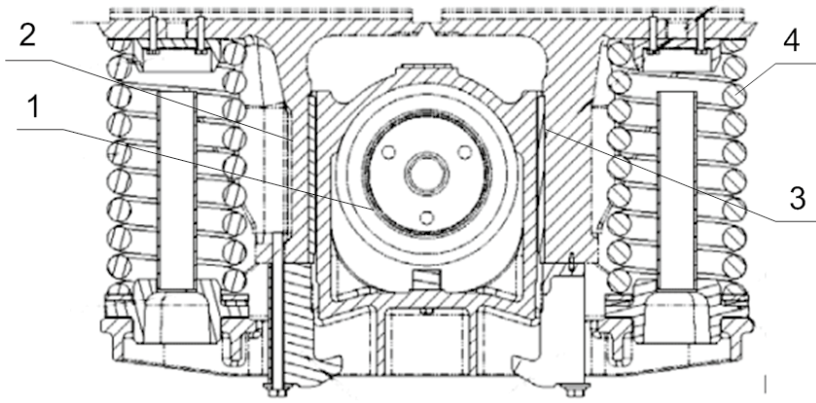
However, when moving on to the effect of dynamic axle unloading on the locomotive's adhesion properties, it is also necessary to take into account the duration of the unloading and the rotational inertia of the wheelset when adhesion is lost, since the frequency of unsprung mass oscillations in the lowest form with a support-axle drive for different locomotives is usually in the range of 20...40 Hz. This issue has not been studied at present, so we can limit ourselves to the conclusion about the advisability of reducing the share of unsprung mass in the total mass of the locomotive, which is primarily achieved by using a frame-support drive.

The axle load, when it changes due to oscillations of the sprung masses occurring with a frequency of 1,5...2,5 Hz (body) and 4...6 Hz

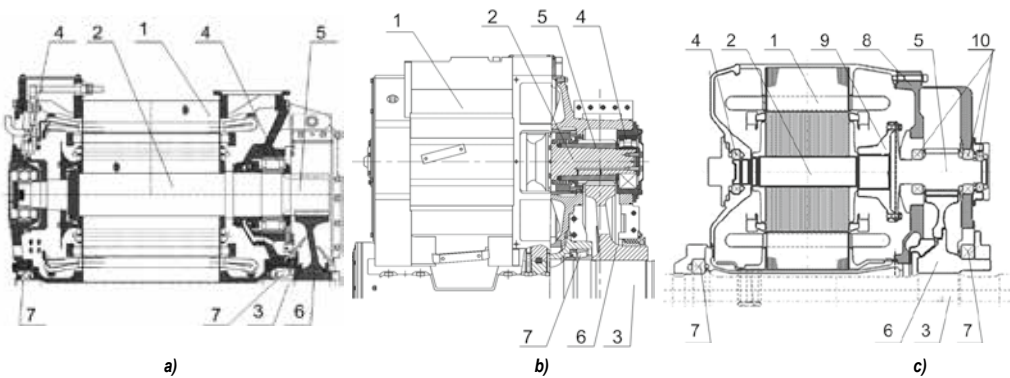
(bogie), in relation to the dynamic processes in the traction drive when the wheel slides along the rail, can be considered quasi-static. Thus, the change in the axle load can be estimated by dividing the amplitude of the vertical displacement of the axle box relative to the bogie frame, when the locomotive is moving, by the value of the static deflection of the axle box stage. Thus, for 2TE121 diesel locomotive, during tests on Vorkuta – Sosnogorsk section, the average maximum amplitudes of the vertical displacements of the axle box at a speed of 27 km/h were 7,5 mm (Pic. 8) with a static deflection of the axle box stage of 130 mm; accordingly, the axle load can be reduced to 0,942 of the average value. It is possible to reduce the influence of vertical oscillations by improving the vertical dynamics of the undercarriage (using balanced spring suspension, increasing the static deflection).

Also, when the sprung masses of the bogie oscillate, the friction in the pedestal («jaw») axle boxes may affect the adhesion of the wheel to the rail. According to [2], the sliding speed of the driving axles of a locomotive with pedestal axle boxes is 5 % higher than with jawless ones. Pedestal axle boxes continue to be used on diesel locomotives made in the USA, in particular, on the TE33a diesel locomotive, which is operated in some countries neighbouring Russia (Pic. 9). The influence of friction in friction dampers of oscillations of the first stage of spring suspension, widely used on domestic diesel locomotives, has not been studied at present, however, it should be considered that in dampers, unlike jaw axle





Pic. 9. Jaw box of TE33a diesel locomotive: 1 – axle box; 2 – jaws; 3 – frame; 4 – axle box suspension spring [30].



Pic. 10. Axle-support drive with rigid gear transmission: a) TE33a diesel locomotive; b) BKG-1 electric locomotive; c) 2EV-120 electric locomotive; 1 – TEM; 2 – TEM shaft; 3 – wheelset axle; 4 – rotor bearing; 5 – small gear wheel; 6 – large gear wheel; 7 – axle bearing; 8 – gearbox housing; 9 – diaphragm coupling; 10 – gearbox bearings [29].

boxes, the friction force does not increase proportionally to the traction force.

It is known that the dynamic component of the torque in the traction drive, arising when driving over vertical unevenness of the track and vibrations of the locomotive's superstructure, has a significant effect on the adhesion properties of the locomotive. Thus, it was found that on 2TE10L diesel locomotive, which has a axle-support drive with a rigid gear transmission, when driving track sections with wave-like wear, a decrease in the adhesion coefficient of 20 % or more was observed [2]. Moreover, in [12], the dynamic torque with a rigid gear transmission is considered as the cause of wave-like wear of the rails. Studies [4] have shown that with a rigid gear transmission of the 2TE10L diesel locomotive, the dynamic torque on the shaft of the traction electric motor (TEM) reached 9,4 kNm. With such a torque value and the presence of wheel – rail adhesion, the axial traction force should be 82 kN, and $\eta = 0,39$, which indicates the possibility of wheel slippage along the rail,

when the resistance to the dynamic torque is created by both the sliding friction force and the inertia of the rotating masses of the wheel.

As indicated in [12], the use of an elastic wheel in the axle-support traction drive of cargo diesel locomotives, leading to a decrease in the dynamic torque by approximately three times, reduced the tendency to skidding and reduced the wear rate of the tyres by 15 %. As a result, by the 80s of the last century, a transmission with an elastic link was introduced on all mainline freight diesel locomotives with a axle-support drive, and an elastic gear wheel (EGW) was created for use in a two-way traction transmission of domestic freight electric locomotives. On the other hand, the use of brushless TEM on foreign freight locomotives has now led to a return to rigid gear transmission (Pic. 10).

The choice of design solutions in the drives shown in Pic. 10 is due to the desire to reduce the diameter of the small gear wheel of the transmission to increase the gear ratio in a single-stage transmission and increase the maximum

number of revolutions of the traction electric motor, which in turn allows to reduce the unsprung mass. In the drive of TE33a diesel locomotive (ES44ACi, developed by General Electric, USA), to reduce the diameter of the small gear wheel, the teeth are cut on TEM shaft itself (Pic. 10a), which requires the manufacture of the shaft from high-alloy steel and disassembly of TEM with pressing out of the rotor steel package in case of wear of the shaft-pinion, or restoration of the teeth by surfacing. In the BKG-1 electric locomotive drive (developed by the Datong Plant, China, jointly with Alstom, France, based on the Alstom Prima 47000 electric locomotive), the small gear wheel is fitted onto TEM shaft with tension, but due to the small diameter of the gear wheel, the wheel had to be placed between the rotor bearings to increase the hub (Pic. 10b). In the 2EV-120 electric locomotive drive (developed by Bombardier, Canada), to increase the service life of the bearings, one end of the rotor shaft rests on the pinion shaft of the axial gearbox (Pic. 10c). In this case, the traction transmission is made in all cases with a slight inclination of the teeth to reduce impacts in the engagement, as a result of which transverse forces arise in it, which complicate the creation of EGW. Another factor complicating the use of EGW was reduction of the traction transmission module to 8...9 mm, which increases the influence of the radial clearance in the connection of the gear ring crown with the hub on the durability of the transmission.

Calculation of dynamic torque acting in a traction drive with a rigid gear transmission is complicated by the complexity of calculating vibration and impact loads during tooth shifting and the lack of accurate data on a number of parameters (for example, on the contact rigidity of the teeth in the presence of lubrication on the surface) and taking into account the slippage of the wheel on the rail. In this regard, we will try to approximately estimate the magnitude of the dynamic torque in the drive of the TE33a diesel locomotive, provided that there is no backlash and the adhesion of the wheelset to the rail is maintained.

Based on [11], the dependence of the dynamic torque on the shaft of TEM of the wheelset on the vertical accelerations of the wheelset axle can be determined as follows:

$$M_d = \frac{I_r(i+1)}{c} \ddot{x}_{ws}, \quad (3)$$

where \ddot{x}_{ws} – vertical acceleration of the axle of the wheelset, m/sec²;

$c = 0,85$ m – distance between the point of suspension to the frame (the turning point of the wheel-motor unit when passing vertical unevenness) and the axle of the wheelset,

I_r – moment of inertia of TEM rotor; $i = 5,3125$ – gear ratio (85:16).

The vertical acceleration of TEM above the axle of the wheelset is determined based on information about the acceleration of the wheelset of the analogical drive:

$$\ddot{x}_{ws} = \ddot{x}_{wsa} \sqrt{\frac{m_{ua}}{m_u}}, \quad (4)$$

where \ddot{x}_{wsa} – average maximum values of vertical accelerations of the wheelset of the analogical locomotive at the speed of movement on the ruling grade. As an analogue we will take the 2TE121 diesel locomotive (Pic. 11), and the speed of movement on the ruling grade will be assumed to be 30 km/h (which is acceptable, since the calculation is made with the aim of analysing primarily the qualitative side of the phenomenon), then from Pic.10 $\ddot{x}_{wsa} = 55$ m/s². $m_{ua} = 4200$ kg – the value of the unsprung mass of the analogue, falling on one axle. As for the unsprung mass of TE33a diesel locomotive, we proceed from the fact that the mass of 5GEB30A1 TM TEM is 2268 kg against the mass of TEM of 3100 kg on the 2TE10L diesel locomotive with jaw axle boxes and an unsprung mass of 4440 kg, and this gives grounds to accept the value of the unsprung mass for the TE33a as less than for the 2TE10L locomotive by an amount equal to half the difference in the masses of TEM, i.e. $m_u = 4000$ kg. With the specified values of the parameters, we obtain $\ddot{x}_{ws} = 56$ m/s².

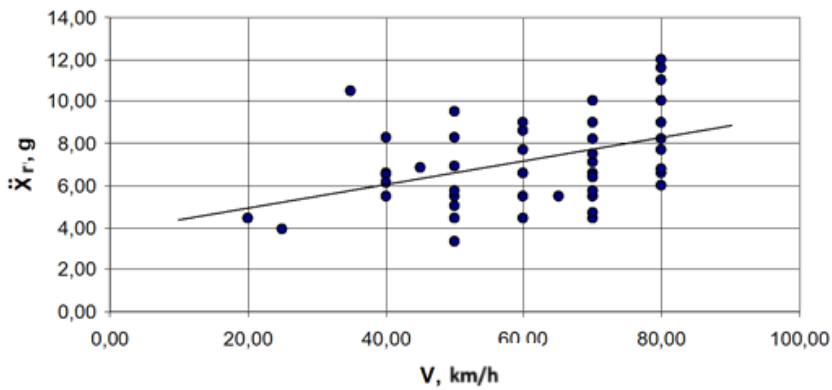
The moment of inertia of TEM rotor is approximately equal to the moment of inertia of a cylinder in the form of a package of electrical steel with a density of $\gamma = 7650$ kg/m³, a radius of $r_r = 0,225$ m and a length of $l = 0,5$ m:

$$I_r = \gamma \pi \frac{r^4 l}{2}. \quad (5)$$

With the specified parameters $I_r = 15,4$ kg/m².

Substituting the obtained values into (3), we obtain the average maximum value $M_d = 6,4$ kNm, which corresponds to the dynamic component of the traction force on the axle of 65 kN and the traction coefficient $\psi = 0,28$. This means that the total static and dynamic traction force in this case would exceed the adhesion limit. Thus, the rigid gear transmission on the TE33a diesel locomotive should lead to the same problems with deterioration of adhesion when passing vertical unevenness of the track, which





Pic. 11. Maximum vertical accelerations of the axle gearbox of the 2TE121–011 diesel locomotive, Vorkuta – Sosnogorsk section [according to data obtained by O. V. Izmerov].

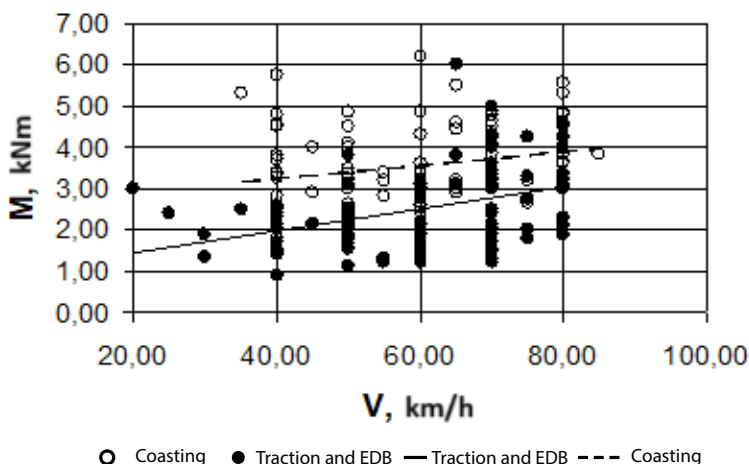
were previously observed on the 2TE10L diesel locomotive, despite the fact that the use of an asynchronous TEM made it possible to reduce the TEM mass by 1,4 times and the moment of inertia of the TEM anchor by almost half.

As noted above, the use of elastic links in the shafting of the axle-support drive makes it possible to reduce the maximum values of the dynamic torque by almost three times. An effective reduction of the dynamic torque is also achieved by using a frame-support drive. As shown in Pic. 12, in the frame-support drive with an axial gearbox of the 2TE121 diesel locomotive, the highest maximum torques are observed in the coasting mode; in the traction mode at a speed of 50 km/h (which corresponds to the hourly speed of freight electric locomotives), the value of the average maximum dynamic component of the torque on the shaft of the axial gearbox is

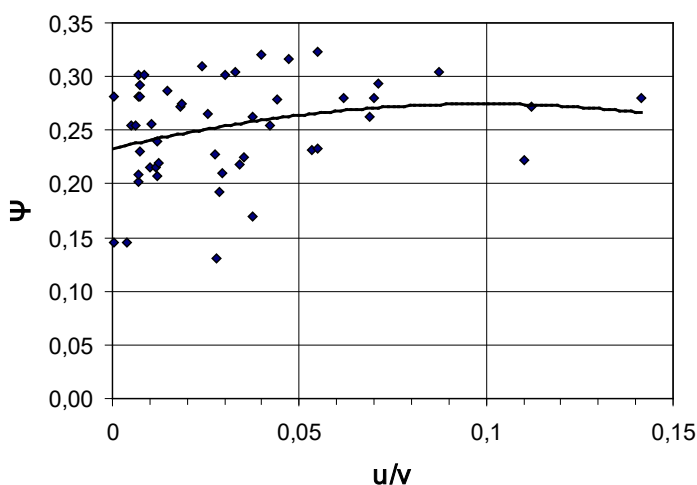
approximately 2,25 kNm, which for this locomotive corresponds to a traction force per axle of 15,5 kN and a traction coefficient of $\psi = 0,06$.

With a hollow shaft frame-support drive of a two-axle bogie of the VL84 electric locomotive in the version with quill driver, the maximum value of the dynamic component of the torque was 6,5 kNm [14], which corresponds to a traction force per axle of 30 kN and $\psi = 0,12$; for bogies with rigid body supports in a hollow shaft frame-support drive, the dynamic torque is insignificant.

Another way to reduce the dynamic component of the torque in the drive and, at the same time, the unsprung mass is the elastic support of the traction motor on the axle or wheel centre (the so-called centre-support drive). As studies have shown [6], such a drive



Pic. 12. Maximum dynamic torque on the shaft of the axle gearbox of the 2TE121–011 diesel locomotive, Vorkuta – Sosnogorsk section, in different driving modes [according to data obtained by O. V. Izmerov].



Pic. 13. Empirical dependence of the axle adhesion coefficient ψ of 2TE121–003B diesel locomotive on the relative slip speed u/v in case of development of self-oscillations of the wheelset [according to data obtained by O. V. Izmerov].

can be effective with a wheel diameter of 1250 mm, since with a wheel diameter of 1050 mm there is insufficient space to accommodate elastic elements that provide a sufficient reduction in the vertical accelerations of TEM. In general, the efficiency of elastic support of the traction electric motor on the wheelset decreases with an increase in the specific torque per unit mass of TEM, since the ultimate deformations of the elastic elements from the action of the torque limit the possibility of reducing their rigidity in the radial direction. Thus, the use of a drive with elastic support of the traction electric motor on the axle of the wheelset for freight locomotives makes sense only in the case of electric locomotives with collector traction electric motors and an axial power increased to 1000 kW or more.

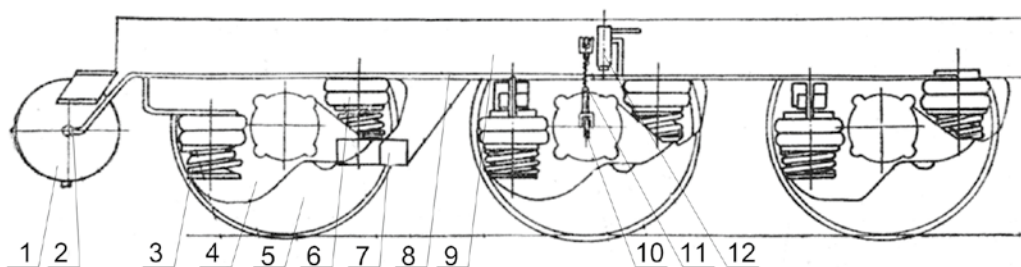
It is known that when skidding begins, the friction coefficient between the wheel and the rail increases if frictional self-oscillations occur in the system of the undercarriage part of the drive [15; 16]. Thus, according to [15], for the industrial 14KR1 electric locomotive in case of intense frictional self-oscillations of the wheelset at an average sliding speed of 12 km/h, the average value of the tangential force of the wheelset increases by 38 % compared to skidding in the absence of torsional vibrations. This phenomenon is explained by the fact that, due to the decrease in the friction coefficient with increasing sliding speed, with an oscillatory change in sliding speed, the integral value of the friction force turns out to

be higher than it should be at an average sliding speed. O. V. Izmerov, during tests on VNIIZhT ring railway track of a 2TE121 diesel locomotive, the drive of which is prone to development of self-oscillations of the wheelset, discovered that even with a slip of 10–14 %, the adhesion coefficient could reach a value of 0,25–0,27 (Pic. 13).

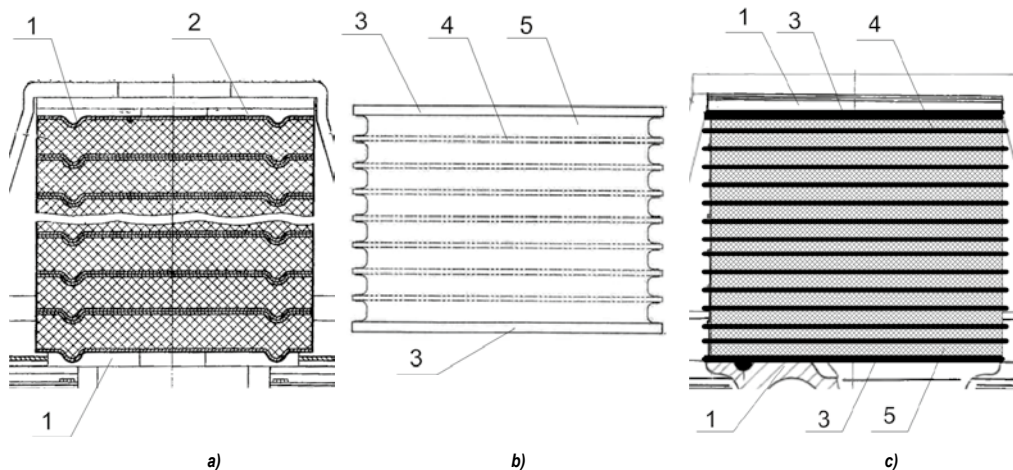
In this case, not random but intermittent skidding was observed, despite the absence of separate axle traction control on this locomotive. A. Golubenko in [9] also notes the fact that the operational coefficient of adhesion for the 2TE121 diesel locomotive when using sand is higher than that calculated according to the traction calculation standards for the 2TE10 and 2TE10L diesel locomotives, while the operational coefficient of adhesion for the 2TE10L and 2TE10V diesel locomotives was lower than the calculated standards.

During skidding in the traction mode, the most typical form of self-oscillations of the wheelset is when the wheels on one axle oscillate in antiphase. Conditions for development of such oscillations exist in drives that have elastic links in the shaft lines (support-axle drive with EGW, frame-support periods, centre-support drive). In this case, it is necessary to limit the amplitude of oscillations to avoid the occurrence of unacceptably high tangential stresses in the axle (by limiting the sliding speed or by means of vibration-impact damping of oscillations in the traction transmission).





Pic. 14. Diagram of pneumatic spring suspension on a unified jawless bogie: 1 – reservoir; 2 – throttle; 3 – spring; 4 – axle box; 5 – wheelset; 6 – pneumatic casing; 7 – axle box leash; 8 – pipeline; 9 – bogie frame; 10 – bracket; 11 – spring; 12 – height control valve [17].



Pic. 15. Rubber-metal supports of the body on the bogie: a) three-axle jawless bogie; b) TE33a diesel locomotive (USA); c) supports proposed by the authors of the article: 1 – support plates; 2 – rubber-metal element; 3 – end reinforcement plates; 4 – intermediate reinforcement plates; 5 – rubber layer [29].

Proposed Solutions

Modernisation of the three-axle bogie of the diesel locomotive

Currently, the 3TE25km diesel locomotives operated on the Eastern polygon mainly have three-axle jawless bogies similar to the bogies of the 2TE116 diesel locomotive, therefore, is advisable to consider the possibilities of increasing their traction properties.

The design of the bogie in question is sufficiently covered in domestic technical literature, therefore, in this article we will consider possible changes:

- use of balanced spring suspension;
- increase in rigidity of the body supports regarding the bogie;
- use of a frame-support drive.

The simplest way to implement a balanced spring suspension for the bogie in question is to use a pneumatic spring suspension in the axle box stage, previously used experimentally on the 2TE116–184 diesel locomotive [10; 18] (Pic. 14).

According to [17], the static deflection of such a suspension is 150 mm, which is sufficient for diesel locomotives with a design speed of 100...120 km/h.

Experimental studies have established [9] that with pneumatic spring suspension, the amplitudes of dynamic loads, compared with the standard version of suspension on axle boxes, decreased by 1.5...2.5 times, which also reduces the dynamic unloading of the axle when passing vertical irregularities on the track.

The main problem that arises when using pneumatic suspension in the axle box stage is the need to limit the vertical movements of the axle boxes relative to the bogie frame in the absence of air in the air springs (for example, when moving the undercarriage along factory tracks). It is known that the dynamic movements of the axle boxes of a jawless bogie with individual spring suspension are 30...35 mm [4], and with a balanced single-stage suspension – 22...26 mm [4, 18], which is consistent with the above-

mentioned phenomenon of a decrease in the amplitudes of dynamic loads. This allows us to expect that with pneumatic spring balanced suspension, the dynamic movements of the axle boxes relative to the bogie frame will be approximately 25 mm, which makes it possible to limit the vertical movements of the axle box to 35 mm, for example, by installing rubber stops on the axle boxes.

Increasing the static deflection of the axle box stage of the spring suspension allows increasing the rigidity of the body supports on the bogie. In combined body supports of domestic diesel locomotives (Pic. 15a), the support is a set of disk flat single-layer rubber-metal elements with a rubber layer thickness of 30 mm and metal plates 2 mm thick, as a result of which the metal reinforcement is 12,5 % of the package height. This design was adopted in the 60s of the last century to simplify the technological equipment in the manufacture of supports and the possibility of replacing individual damaged elements. In the body supports of US diesel locomotives (Pic. 15b), multilayer rubber-metal packages are used, which complicates the tooling, but allows for a reduction in the thickness of the intermediate reinforcement and ensures the same properties of the rubber in the support.

It should be noted that the issue of using multilayer elements in body supports instead of a set of single-layer ones was raised back in the mid-80s of the last century, however, since the purpose of the proposal was only to save metal, the idea was not implemented. In this case (Pic. 15c), the use of a multilayer element allows, while maintaining the same total thickness of the rubber layer (that is, with the same relative shear deformations when turning the bogie), to significantly reduce the distance between the plates, thereby increasing the rigidity of the support by several times and increasing the coefficient of use of the adhesion weight.

Increasing the rigidity of the body supports in combination with balanced air suspension allows increasing the coefficient of use of the adhesion weight η by approximately 11 % compared to the standard version of the bogie.

A further increase in this indicator is possible with the use of a frame-support traction drive. However, the use of a traction drive with a hollow shaft on the axle of a wheelset on a diesel locomotive with a wheel diameter of 1050 mm is associated with significant difficulties caused not only by the reduction of the gear transmission

centre due to the need to reduce the diameter of the driven gear wheel located on the sprung mass (reducing the number of teeth from 75 to 72 with a module of 10), but mainly due to the placement of a hollow shaft between TEM housing and the axle of the wheelset, while the distance between the hollow shaft and the axle should be about 40 mm. As studies have shown [19], with a single-stage transmission, it is necessary to place an intermediate wheel. Another solution is to use a one-sided hinged-drive mechanism, which will require creation of multi-layer spherical rubber-metal hinges with a load capacity several times higher than existing ones. Now, we can only state the fundamental possibility of creating such a drive in the future and the feasibility of work in this direction, since the frame-support drive will not only allow us to slightly increase the value of η by approximately 4 %, but also reduce the unsprung mass.

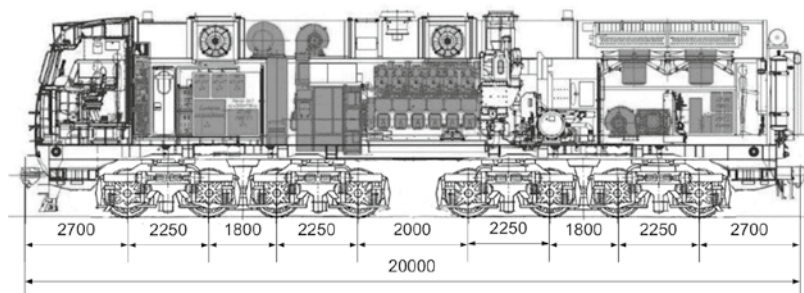
Since in any case the disadvantage of a three-axle jawless bogie is a significant base compared to two-axle ones, in the opinion of the authors, for the 3TE25km series diesel locomotives currently operating on the Eastern polygon, it makes sense to modernise them by introducing a balanced pneumatic suspension and more rigid body supports, which does not require significant changes in the bogie design and maintains a high degree of its unification with the serial version. To implement the traction coefficient $\psi = 0,3$ and higher, it is necessary to create a new undercarriage part that takes into account the specifics of the Eastern polygon.

Unified bogie of diesel and electric locomotive

Currently, there are plans to create two locomotives for the Eastern polygon. Thus, JSC Sinara Transport Machines plans to create double unit 2TE35a diesel locomotives with an eight-axle bogie, having an upper intermediate frame, with a unit length of 24 m. In turn, JSC TMH plans to create a three-unit gas-diesel locomotive 3TE30g with a middle unit, which contains a reserve of liquefied gas or diesel fuel.

Both options have their advantages and disadvantages. The eight-axle bogie of the 2TE35a diesel locomotive allows for an increased adhesion coefficient on curves, but at the same time there is limited space for a fuel tank even with a total unit length of 24 m, which prevents the use of liquefied gas. In addition, the upper intermediate frame is heavy, and the announced





Pic. 16. An example of placement of an eight-axle bogie on the outer unit of a 3TE30g diesel locomotive, as proposed by the authors of the article.

use of TEM of the 2ES8 electric locomotive, which has a two-way rigid gear transmission, leads to a decrease in the adhesion coefficient when passing unevenness in the track, both due to the high unsprung mass (since it includes the rotating masses of the rotor) and due to dynamic loads in the drive. On the 3TE30g diesel locomotive with a unit length of 20 m, the use of a three-axle bogie simplifies and lightens the design, but leads to a deterioration in adhesion properties and an increase in wear of the wheel flanges; the use of an eight-axle undercarriage is unrealistic due to the impossibility in this case of placing a fuel tank under the body or increasing the length of the unit due to an unacceptable increase in the overall length of the locomotive.

Thus, the use of two-axle bogies on the 3TE30g diesel locomotive is hindered by the antagonism of properties: there must be a fuel tank and there must not be one. The antagonism can be removed by placing almost the entire fuel supply in the middle unit, leaving a small tank on the outer units for independent movement of the uncoupled unit along the depot tracks. In this case, it becomes possible to use eight-axle bogies with a lower frame on the outer units of the locomotive, similar to those used on the TE136 locomotive (Pic. 16).

In this case, the bogies of the middle unit can be made unmotorised. If two two-axle motorised bogies are used on the middle unit, then three two-axle bogies can be used on the outer units, similar to how it is done on the EP1 electric locomotive (Pic. 17), using inclined rods to transmit the traction force to the body (not shown in Pic. 15).

The above types of arrangement can also be implemented in the electric locomotive version. In addition, when arranging a diesel locomotive with outer eight-axle units and a motorised four-axle middle unit, the total power of the locomotive can be increased from 6 to 8,8 MW by using a domestic 12LDG500 diesel generator.

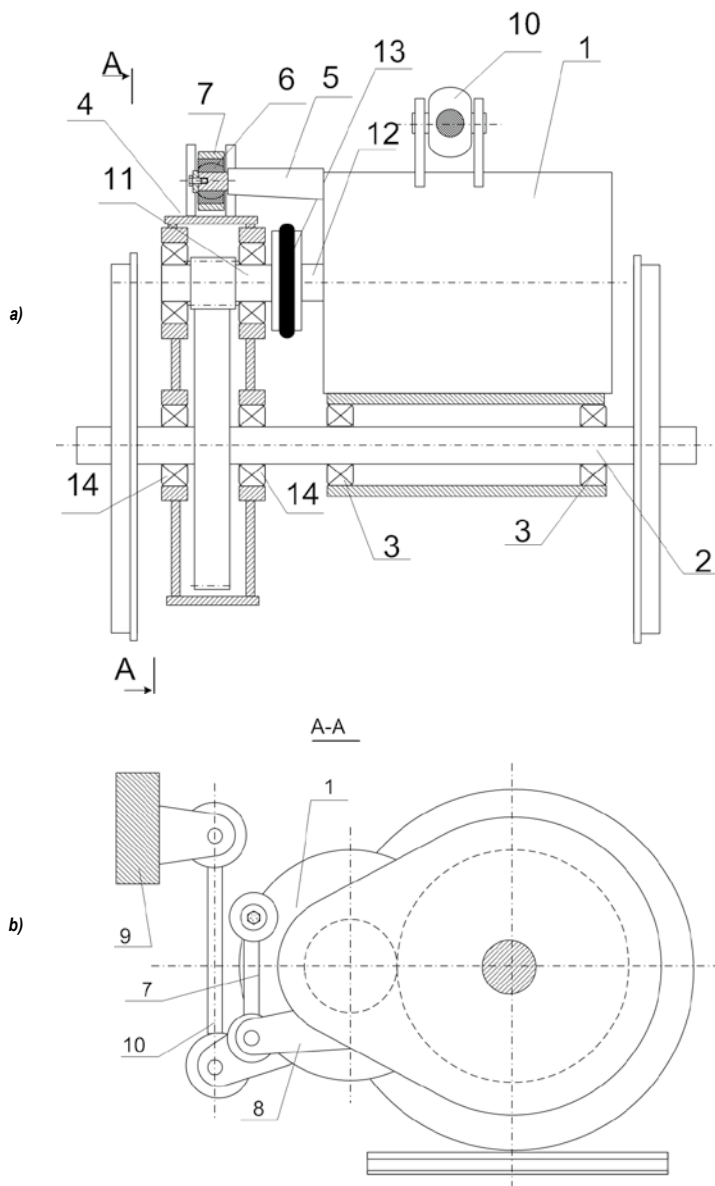
The use of inclined rods or a low-lying frame, compensating for redistribution of weight along the axles, allows free selection of the type of traction drive. Since the implementation of high traction forces requires the creation of new design elements for the transmission mechanism located on the low-speed part of the drive (for example, two-layer spherical rubber-metal hinges, previously described by the authors in [20]), and the terms of development and production of new locomotives are limited, two drive options are possible, which, on the one hand, do not require the creation of fundamentally new design elements, and on the other hand, ensure a reduction in the unsprung mass of the locomotive and the dynamic component of the traction force:

- drive with a frame-support suspension of TEM and an axial gearbox;
- drive with an axial-support suspension of TEM of an aggregate arrangement.

The use of a frame-support drive with an axial gearbox is advisable when using a traction electric motor with a maximum rotation speed below 3000 min^{-1} , since this allows the torsion shaft of the transmission mechanism to be placed inside the hollow rotor. With a continuous traction coefficient of $\psi = 0,3$ and an axial load of 245,25 kN, the drive must provide a traction



Pic. 17. A variant of the layout of a diesel locomotive with motorised axles of the middle unit and six-axle outer units, as proposed by the authors of the article.



Pic. 18. The aggregate arrangement of the axial-support drive proposed by the authors of the article:
a) general view; b) view from the side of the axle gearbox; 1 – TEM; 2 – wheelset; 3, 14 – bearings; 4 – axle gearbox; 5 – bracket with pin; 6 – spherical joint; 7 – suspension; 8 – bracket of the axle gearbox; 9 – bogie frame; 10 – TEM suspension; 11 – TEM shaft; 12 – shaft of the axle gearbox; 13 – elastic-compensation coupling [28].

force on the wheel rim of $F_{\infty} = 73,575$ kN. To implement such a traction force, the gear ratio of the gearbox must be:

$$u = \frac{F_{\infty} D_w}{2 M_{\infty} \eta_g}, \quad (6)$$

where $M_{\infty} = 10,4$ kNm – torque of the TEM in continuous mode (by analogy with the TEM STA-1200U1 of the DS3 electric locomotive, which has a drive of this type), $D_w = 1,25$ m is the wheel diameter; $\eta_g = 0,98$ is the efficiency of the gear transmission with rolling bearings. For the specified parameters, $u = 4,51$. With a gear transmission module equal to 10 and

a number of teeth on the driven gear equal to 95, the closest number of teeth on the small gear is 21, i.e. only 1 tooth less than in the axial gearbox on the 2TE121 diesel locomotive (with $u = 4,52$). Since the radial dimension of the STA1200U1 TEM in the plane of the traction transmission is about 800 mm, which is significantly less than the outer diameter of the ED126AUHL1 TEM (1036 mm), the possibility of placing the STA1200U1 TEM with this gear ratio can be considered proven.

The maximum rotation frequency of the TEM rotor with this gear ratio will be:

$$n_{\max} = \frac{60v_d u}{3,6\pi D_w}, \quad (7)$$

where $v_d = 120$ km/h – design speed of the locomotive. With the above values, $n_{\max} = 2304$ min⁻¹, which is significantly lower than the calculated maximum rotation frequency of STA1200U1 TEM (2304 min⁻¹), so it can be assumed that significant problems with the rotor bearings will not arise in the case under consideration.

When using TEM with a maximum rotation speed of about 3500 min⁻¹, it is advisable to use an axial-support drive of the aggregate type, the advantages of which, compared to the integrated drive used in foreign locomotives (Pic. 10c), were previously described in detail by the authors in [21]. According to [22], it is proposed to classify aggregate traction drives as traction drives that contain several units with the same type of support, maintaining operability separately from each other, and connected to each other by movable connections. Due to the mobility of the connection of the axle gearbox and TEM, it becomes possible to connect the shafts of the axle gearbox and TEM with an elastic-compensating coupling, while the misalignment of these shafts, unlike the frame-support drive with an axial gearbox, does not depend on vertical movements of the axle box, but is determined only by manufacturing errors of the parts. Minor shaft misalignment makes it possible in principle to use a single compensating coupling and increase its rotation frequency to values determined by the service life of the drive gear and input shaft bearings. In addition, the presence of an elastic connection between TEM rotor and the wheelset contributes to development of self-oscillations of the wheelset during slippage, which increases the adhesion coefficient.

The authors have developed and patented several design schemes for such drives (for example, [23–26]). One of the versions of such a drive proposed by the authors is shown in Pic. 18.

In the proposed drive, the axle gearbox is connected to TEM, which rests on the axle of the wheelset, by a hinged suspension, which does not allow the axle gearbox to move relative to TEM in the vertical direction, but this does not require such precision in the manufacture of the housing parts as in the integrated type drive described above. As can be seen from Pic. 17a, the aggregate arrangement leads to a slight increase in the axial dimensions of the drive to

accommodate the elastic coupling, however, as previously proven by the authors in [27], for 1520 mm gauge locomotives this does not prevent the placement of a traction motor of the required power. The authors received a patent for a utility model for the drive shown in Pic. 17 [28].

Based on the fact that for the TE136 diesel locomotive, which used an eight-axle bogie with a frame-support drive and traction force transmission through a low-positioned intermediate frame, without the use of separate axle traction force control systems, the traction coefficient ψ was increased to 0,24 against 0,18 for the 2TE116 diesel locomotive, i.e., by 33 %, while equalising the axle loads theoretically made it possible to improve the traction properties in relation to the 2TE116 diesel locomotive by no more than 15 %, there is reason to believe that the proposed version of a unified bogie for freight diesel locomotives and electric locomotives using brushless TEM with separate axle control will make it possible to increase the traction coefficient in the design mode to values of 0,3...0,33.

CONCLUSIONS

The existence of a problem of rational selection of design solutions for the undercarriage of locomotives, ensuring the most complete use of adhesion properties in the conditions of the Eastern polygon, characterised by the presence of a significant number of curves with a radius of 350 m and less, was revealed.

Based on the analysis of factors affecting adhesion properties, an extended classification of methods for improving adhesion properties by improving the undercarriage was proposed.

Factors that can lead to deterioration of the adhesion properties of domestic locomotives in the conditions of the Eastern polygon were established. For freight diesel locomotives with standardised three-axle bogies, deterioration of adhesion properties is caused by a significant bogie base, insufficient rigidity of the rubber-metal body supports resting on the bogie with the upper location of the kingpin and unbalanced axle box suspension. The use of radial wheelset bogies on diesel locomotives only partially eliminates these shortcomings, since the axle box suspension remains unbalanced, and the low kingpin is less effective compared to the transmission of traction force to the body using an inclined

traction rod, while the radial wheelset mechanisms complicate the design of the bogie, its maintenance and repair. For freight electric locomotives, a factor that worsens the traction properties is the use of a rigid transmission in the support-axle drive, which leads to the occurrence of total static and dynamic torques exceeding the adhesion limit when passing unevenness in the track.

It has been established that the undercarriage of foreign freight locomotives also cannot be considered completely rational in terms of maximising adhesion properties, primarily due to the rigid gear transmission. For the TE33a diesel locomotive developed by General Electric, the adhesion properties are also worsened by the significant base of the three-axle bogie and the use of jaw axle boxes.

As measures for modernisation of the unified three-axle bogie of freight diesel locomotives, it is proposed to use balanced pneumatic spring suspension in the axle box stage and increase the rigidity of the rubber-metal body supports resting on the bogie through the transition from a set of individual rubber-metal elements to a multilayer rubber-metal support with an increased number of intermediate plates.

It is proposed to create a unified undercarriage of promising diesel and electric locomotives for the Eastern polygon with a brushless drive in the diesel locomotive version to abandon the idea to place fuel tanks under the bodies of the outer units and place the main fuel supply in the middle four-axle unit. This will allow, with an outer unit length of 20 m, to use on the outer units either two four-axle bogies in the form of two-axle with a base of 2250 mm, united by a low-lying beam, or three two-axle with traction force transmitted to the body using an inclined traction rod. It is proposed to use structures with an elastic connection of TEM rotor and the wheelset as a traction drive, in the form of a frame-support drive with an axial gearbox and a traction motor with a maximum rotation frequency below 2500 min^{-1} , or a axial-support drive of an aggregate scheme with an elastic coupling. It is assumed that these measures will increase the operational coefficient of adhesion from 0,27 to 0,3 ... 0,33, including due to development of self-oscillations of the wheelset in the skidding mode.

The authors received seven patents for utility models on the topic of the article.

REFERENCES

1. Zak, V. V., Vasiliev, I. P., Kulabukhov, A. S., Dmitriev, S. A., Varfolomeev, R. S. Prospective diesel locomotive for the Eastern polygon [*Perspektivniy teplovoz dlya vostochnogo poligona*]. *Locomotiv*, 2018, Iss. 9 (741), pp. 33–35. EDN: XYBREL.
2. Fufryansky, N. A., Nestrakhov, A. S., Dolganov, A. N., Kamenev, N. N., Pakhomov, E. A. Development of locomotive traction [*Razvitie lokomotivnoi tyagi*]. Ed. By N. A. Fufryansky and A. I. Bevzenko. Moscow, Transport publ., 1982, 303 p.
3. Yanovsky, A. S. At the meeting of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways [*Na zasedanii Obedinennogo uchenogo soveta OAO RZD*]. *Put i putevye khozyaistvo*, 2021, Iss. 5, pp. 7–9. EDN: PHTDSQ.
4. Belyaev, A. I., Bunin, B. B., Golubyatnikov, S. M. [et al]. Increasing the reliability of the undercarriage of diesel locomotives: Monograph [*Povyshenie nadezhnosti ekipazhnoi chasti teplovozov: Monografiya*]. Ed. by L. K. Dobrynin. Moscow, Transport publ., 1984, 248 p.
5. Golubyatnikov, S. M., Sorochkin, E. M., Petrov, A. V., Spiragin, I. K., Burka, M. L., Kutepov, S. A. Influence of designs and characteristics of horizontal connections of the body with bogies on the dynamics of the 2TE121 diesel locomotive in straight, curved and turnout switches sections [*Vliyaniye konstruktivnykh i kharakteristik gorizontalnykh svyazey kuzova s telezhkami na dinamiku teplovoza 2TE121 v pryamykh, krivyykh i strelchynykh perevodakh*]. *Results of tests of the 2TE121 diesel locomotive. Proc. of VNIT*, 1985, Iss. 62, pp. 97–108.
6. Mikhachenko, G. S., Yurshin, A. S. Evaluation of wheel wear of a cargo diesel locomotive with radial installation of wheelsets [*Otsenka iznosa koles gruzovogo teplovoza s radialnoi ustanovkoi kolesnykh par*]. *Vestnik BG TU*, 2007, Iss. 2 (14), pp. 39–43. EDN: KWBKRT.
7. Kraft, K. Die Haftreibung. *Elektrische Bahnen*, 1968, Heft 6, pp. 142–150; Heft 7, pp. 161–170; Heft 8, pp. 190–198; Heft 9, pp. 214–219.
8. Izmerov, O. V., Litvinov, A. T., Akishin, E. P., Verber, F. G., Lysak, V. A., Avramenko, V. S., Vlasov, V. I., Kochergin, V. V. Dynamic loads in the traction drive of the 2TE121 diesel locomotive [*Dinamicheskie nagruzki v tyagovom privode teplovoza 2TE121*]. *Results of tests of the 2TE121 diesel locomotive. Proc. of VNIT*, 1985, Iss. 62, pp. 119–130.
9. Evstratov, A. S. Undercarriage of diesel locomotives [*Ekipazhnye chasti teplovozov*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987, 136 p.
10. Vorobyov, V. I., Antipin, D. Ya., Kopylov, S. O., Izmerov, O. V., Shorokhov, S. G., Maslov, M. A., Ashurkova, S. N. Patent for utility model No. 185449, Russian Federation, SPK B61C 9/38 (2006.01). Device for fastening a locomotive traction electric motor to a bogie frame. Publ. 05.12.2018. Bull. № 34. [Electronic resource]: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWU1/000/000/000/185/449/%D0%9F%D0%9C-00185449-00001/document.pdf>. Last accessed 25.01.2024.
11. Antipin, D. Ya., Kosmodamiansky, A. S., Izmerov, O. V., Borzenkov, M. I., Maslov, M. A., Novikov, A. S., Samotkanov, A. V. Patent for utility model No. 187685, Russian Federation, SPK B61C 9/38 (2006.01). Device for fastening locomotive traction motors to the frame of a two-axle body. Publ. 14.03.2019. Bull. № 8. [Electronic resource]: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWU1/000/000/000/187/685/%D0%9F%D0%9C-00187685-00001/document.pdf>. Last accessed 25.01.2024.
12. Ivanov, V. N., Ivanov, V. V., Panov, N. I., Tretyakov, A. P. Design and dynamics of diesel locomotives [*Konstruktsiya i dinamika teplovozov*]. Ed. by Prof., D.Sc. (Eng) V. N. Ivanov. 2nd ed., enl. Moscow, Transport publ., 1974, 336 p.



13. Biryukov, I. V., Belyaev, A. I., Rybnikov, E. K. Traction transmissions of electric rolling stock of railways [Tyagovie peredachi elektropodvizhnogo sostava zheleznnykh dorog]. Moscow, Transport publ., 1986, 256 p.
14. Sergienko, P. E., Ostapenko, V. M. Experimental studies of the traction drive of the VL84 electric locomotive [Eksperimentalnie issledovaniya tyagovogo privoda elektrovoza VL84]. *Elektrovozostroyeniye*, 1982, Vol. 22, pp. 115–125.
15. Lysak, V. A. Torsional vibrations of locomotive wheelsets arising during skidding [Krutilnye kolebaniya kolesnykh par lokomotivov, vznikayushchie pri boksovani]. *Study of locomotive dynamics. Proceedings of VNITI*, 1996, Iss. 22, pp. 108–113.
16. Izmerov, O. V., Koshelev, A. V., Chvala, A. N. The problem of reproducibility of the results of natural experimental studies of the tribological properties of the «wheel-rail» system in the context of globalization of the rail transport market [Problema vosproizvodimosti rezultatov naturnykh eksperimentalnykh issledovaniy tribologicheskikh svoystv sistemy «koleso-rels» v usloviyakh globalizatsii ryinka relsovykh transportnykh sredstv]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2011, Iss. 3 (34), pp. 28–34. EDN: OXSSXX.
17. Pneumatic spring suspension of diesel locomotives: Monograph [Pnevmaticheskoe ressonnoe podveshivanie teplovozov: Monografiya]. Under the general editorship of S. M. Kutsenko. Kharkov, «Vischa shkola», 1978, 97 p.
18. Puzanov, V. A., Zeitlin, E. L. Dynamic qualities of the spring suspension of the 2TE121 diesel locomotive [Dinamicheskie kachestva ressonnogo podveshivaniya teplovoza 2TE121]. Collection «Results of tests of the 2TE121 diesel locomotive» edited by L. K. Dobrynin. *Proceedings of VNITI*, 1985, Iss. 62, pp. 117–118.
19. Filonov, S. P., Litvinov, A. T., Dobrynin, L. K., Kolesin, Yu. V. Characteristics and main design solutions of the 2TE121 diesel locomotive bogies [Kharakteristiki i osnovnye konstruktivnye resheniya telezhek teplovoza 2TE121]. Collection «Results of tests of the 2TE121 diesel locomotive» edited by L. K. Dobrynin. *Proceedings of VNITI*, 1985, Iss. 62, pp. 49–60.
20. Kosmodamianskiy, A. S., Vorob'ev, V. I., Izmerov, O. V., Shevchenko, D. N., Rasin, D. Yu. Two-layer spherical rubber-metal joints and problems of their calculation features. *Russian Railway Science Journal*, 2022, Vol. 81, Iss. 2, pp. 114–124. DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-2-114-124.
21. Vorobyov, V. I., Strizhenok, A. G., Izmerov, O. V. Search of new design schemes of geared and direct-drive traction mechanism of locomotive with mass partial springing. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2016, Iss. 1 (49), pp. 16–21. DOI: 10.12737/18171.
22. Vorobyov, V. I., Zlobin, S. N., Izmerov, O. V. [et al.] Application of classifications for searching for new technical solutions: Monograph [Primenenie klassifikatsii dlya poiska novykh tekhnicheskikh reshenii: Monografiya]. Oryol, I. S. Turgenev Oryol State University, 2022, 189 p. ISBN: 978–5–9929–1173–2.
23. Vorobyov, V. I., Izmerov, O. V., Novikov, V. G., Vdovin, A. V., Bondarenko, D. A., Novikov, A. S., Vorobyov, D. V. Patent for utility model No. 164797, Russian Federation, IPC B61C 9/48. Traction drive of a locomotive. Publ. 20.09.2016, bull. № 26. [Electronic resource]: <https://new.fips.ru/Archive4/PAT/2016FULL/2016.09.20/DOC/RUNWU1/000/000/000/164/797/DOCUMENT.PDF>. Last accessed 25.01.2024.
24. Vorobyov, V. I., Antipin, D. Ya., Kosmodamianskiy, A. S., Izmerov, O. V., Maslov, M. A., Kopylov, S. O. Patent for utility model No. 189364, Russian Federation, SPK B61S 15/08 (2013.01). Locomotive traction drive. Publ. 21.05.2019, bull. № 15. [Electronic resource]: https://patents.s3.yandex.net/RU189364U1_20190521.pdf. Last accessed 25.01.2024.
25. Vorobyov, V. I., Antipin, D. Ya., Izmerov, O. V., Maslov, M. A., Shevchenko, D. N. Russian Federation Patent for Utility Model No. 206748. SPK B61C 9/38 (2021.08); B61C 9/48 (2021.08) Locomotive Traction Drive. Publ. 24.09.2021, bull. № 27. [Electronic resource]: https://patents.s3.yandex.net/RU206748U1_20210924.pdf
26. Kosmodamianskiy, A. S., Izmerov, O. V., Kopylov, S. O., Vorobyov, V. I., Korchagin, V. O., Pugachev, A. A., Kapustin, M. Yu., Samotkanov, A. V., Shevchenko, D. N., Nikolaev, E. V., Karpov, A. E. Patent of the Russian Federation for utility model No. 215944. SPK B61C 9/50. Locomotive traction drive. Publ. 11.01.2023, bull. № 2. [Electronic resource]: https://patents.s3.yandex.net/RU215944U1_20230111.pdf. Last accessed 25.01.2024.
27. Kosmodamianskiy, A. S., Pugachev, A. A., Vorobyov, V. I., Izmerov, O. V., Nikolaev, E. V. Application of aggregate traction drives for locomotives with increased traction properties. *Transport Urala*, 2023, Iss. 2 (77), pp. 41–48. [Electronic resource]: [https://www.usurt.ru/uploads/main/0df/65364a3a4d5ef/TU_2\(77\)_2023_PDF_A.pdf](https://www.usurt.ru/uploads/main/0df/65364a3a4d5ef/TU_2(77)_2023_PDF_A.pdf) [full text of the issue]. Last accessed 23.12.2023.
28. Zlobin, S. N., Vorobyov, V. I., Izmerov, O. V., Kopylov, S. O., Nikolaev, E. V. Russian Federation Patent for Utility Model No. 223262. SPK B61C 9/50, B61F 15/16. Locomotive Traction Drive. Publ. 09.02.2024, bull. № 4. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_60789731_72152078.PDF. Last accessed 25.01.2024.
29. Karpov, A. P. Improvement of the design of elastic elements of the undercarriage of the TE33A series diesel locomotive to improve dynamic performance. D.Sc. (Philosophy) thesis [Sovershenstvovanie konstruktivnykh elementov ekipazhnoi chasti teplovoza serii TE33A dlya uluchsheniya dinamicheskikh pokazatelei. Diss...dokt. filosofii (PhD)]. Almaty, International Transport and Humanitarian University, 2024, 131 p. [Electronic resource]: <https://official.satbayev.university/download/document/Phd/36064/Dissertation.pdf?ysclid=m17x05e9i5174433636>. Last accessed 25.01.2024.

Information about the authors:

Kosmodamianskiy, Andrey S., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, askosm@mail.ru.

Vorobyov, Vladimir I., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Railway Rolling Stock of Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, vladimvorobiev@yandex.ru.

Izmerov, Oleg V., External Ph. D. Student at the Department of Railway Rolling Stock of Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, izmerov@yandex.ru.

Nikolaev, Evgeny V., Associate Professor at the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, work-omc@yandex.ru.

Shevchenko, Dmitry N., Senior Lecturer at the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Academy of Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, shevchenkodn.roat@ya.ru.

Article received 14.12.2023, approved 15.02.2024, accepted 29.02.2024.



MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS



URBAN TRANSPORT 212, 223

*City public passenger transport:
priorities of development
and priority lanes.*

*Street capacity: how to obtain exact
data?*



TRANSPORT PARTNERSHIP 230, 234

*North – South International Transport
Corridor: outlook and development
capacity.*

Eurasian development vector.



TRANSPORT OF VALUABLE GOODS 238

*Technical and organisational aspects:
start of discussion.*





ORIGINAL ARTICLE
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>

World of Transport and Transportation, 2024,
Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 212–222

Methodology for Providing Priority to Urban Passenger Transport Traffic



Tatiana V. KONOVALOVA



Sofia L. NADIRYAN



Irina N. KOTENKOVA



Ivan S. SENIN

Tatiana V. Konovalova¹, Sofia L. Nadiryan², Irina N. Kotenkova³, Ivan S. Senin⁴

^{1, 2, 3, 4} Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia.

¹ ORCID 0000-0002-1818-4229; Web of Science Researcher ID: AAJ-1426-2021; Scopus Author ID: 57211052284; Russian Science Citation Index SPIN-code: 4175-7031.

² ORCID 0000-0002-7489-9982; Scopus Author ID: 57219598896; Russian Science Citation Index SPIN-code: 4514-7699.

³ ORCID 0000-0002-8653-8930; Russian Science Citation Index SPIN-code: 6427-8610.

⁴ ORCID 0000-0001-9807-4830; Scopus Author ID: 57219594279; Russian Science Citation Index SPIN-code: 1286-9857.

✉ ³ kot83@mail.ru.

ABSTRACT

The article considers the efficiency of providing priority conditions for urban passenger transport by allocating separate lanes for public transport on the roadway. The results of modelling the traffic flow on the considered segments of the city street network are complemented by a conclusion about the need to improve road traffic management on these segments, considering the intensity and composition of the traffic flow.

Simulation allows creating mathematical or computer models for analysing and assessing the traffic conditions of urban passenger transport. The models are based on various parameters of traffic flows, the schedule of urban passenger transport, the location of public transport stops, etc. Modelling allows conduct of different experiments to assess the effectiveness of various measures and changes in the transport system.

The objective of the study is to develop a methodology for analysing traffic conditions that will identify and assign priority to

urban passenger transport traffic to achieve efficiency and comfort of its operation, improve transport accessibility and reduce traffic delays.

Optimisation of the traffic provides for various management scenarios to find optimal solutions that reduce delays, congestion, traffic intensity, etc.

Route planning is necessary for developing an optimal strategy for efficient passenger service. Demand forecasts make it possible to predict not only passenger traffic, but also the need for transportation in different periods, which is necessary for route planning and selection of optimal rolling stock features. All these areas of modelling the urban passenger transport traffic are developed to achieve the goals of increasing efficiency, reducing the risk of road traffic accidents, improving the quality of transport services and the safety of passenger transportation, which should create a sustainable system aimed at satisfying the basic needs of urban transport passengers.

Keywords: urban passenger transport, street, traffic flow, intensity, model, traffic, efficiency

For citation: Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N., Senin, I. S. Methodology for Providing Priority to Urban Passenger Transport Traffic. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 212–222. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-7>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

Road traffic management is relevant for the cities all over the world. Large and medium-sized cities in developing countries are currently at a stage of development when the transport component is evolving, and accordingly, problems associated with intensive transport development of cities become increasingly evident. Such problems include the level of traffic congestion on the street-and-road network, the quality of transport services, transport ecology problems, and road traffic safety. If in developed cities there is a trend to displace private cars from city centres and switch to public and environmentally friendly transport, which seemed impossible just a few years ago, then in developing cities problems of a different kind are growing: a low level of development, a slight increase in the standard of living, availability of credit products and, due to this, an increase in the purchasing power of the population and an increase in the level of motorisation.

At present, in large and largest cities, the most pressing transport problem is the discrepancy between the parameters of the street-and-road network and the level of motorisation. To improve the quality of transport services for the population and resolve conflicts in the urban transport system, it is necessary to develop and implement measures to popularise and increase the attractiveness of public urban passenger transport. To achieve this goal, it is necessary to increase the demand for fixed-route transportation, as an option, by improving the quality of transport services. One of the main criteria for assessing the efficiency of transport by users is

the speed of travelling from origin to destination. And in this case, ensuring priority for ground public passenger transport is becoming increasingly important.

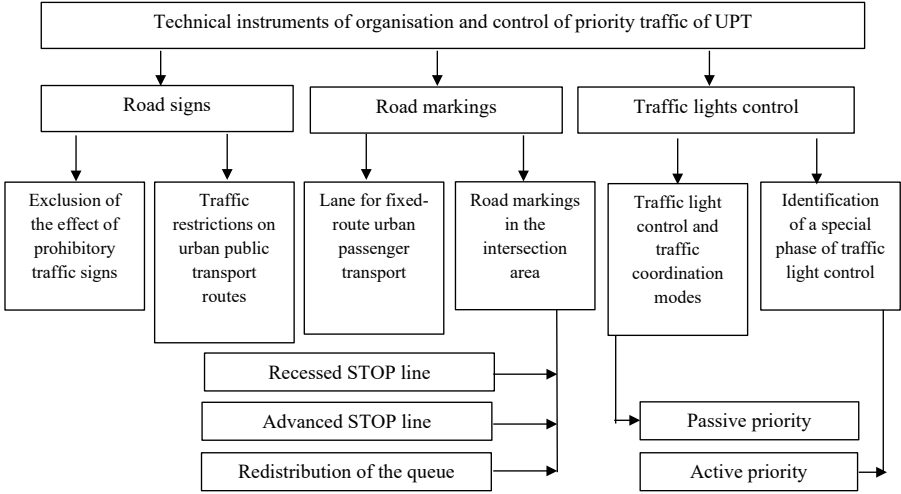
RESULTS

Dedicated lanes: Analysis of Problems and Approaches to Solve Them

«To ensure the efficient operation of the system providing for priority of fixed-route transportation, an effective method for calculating the efficiency of operation of the dedicated lane is required, considering the specified criteria and modelling the movement of traffic flows on segments of the street-and-road network. The direction of ensuring the priority traffic for urban passenger transport within the framework of optimising the operation of the transport system is actively implemented in European cities, as well as in the agglomerations of China, the USA» [1].

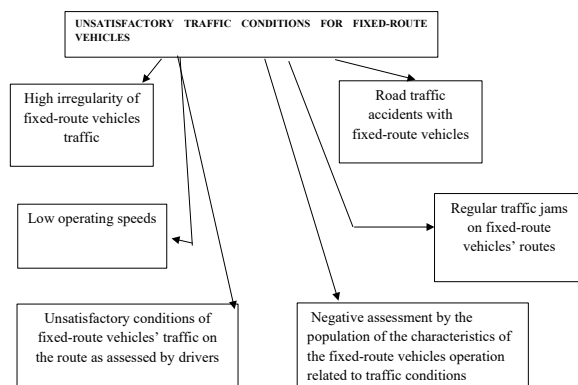
With the increase in the intensity of traffic flows, the task of ensuring the optimal speed mode and safety of fixed-route passenger transport (RPT) becomes especially urgent and at the same time difficult to solve. «Its solution requires providing certain advantages to public transport vehicles, which are provided by:

- regulatory documentation;
- road signs and traffic light control elements;
- ensuring the priority right of movement within the traffic light control cycle at intersections» [2];
- introducing some restrictions for other vehicles on the streets and roads along which urban passenger transport (UPT) routes pass;



Pic. 1. Technical instruments of ensuring the priority of fixed-route vehicles [performed by the authors].





Pic. 2. Traffic conditions of fixed-route vehicles necessary for introduction of priority traffic [performed by the authors].

– allocating a priority lane for fixed-route passenger transport.

The described methods are provided by the technical instruments shown in Pic. 1.

To increase the speed of urban route transport, it is possible to designate any street lane as a priority lane.

It is also possible to use tram stops for bus stops. In such cases, the landing platform and the stop pavilion are used jointly by passengers of both bus and tram routes.

If a decision is made to designate the rightmost lane of a city street as a priority lane for movement of RPT, then certain difficulties arise associated with the right turn manoeuvre: cars must change to the lane for RPT to perform the manoeuvre, and difficulties also arise with stopping and parking – other vehicles cannot stop in the lane for RPT.

«To determine the segments of the street-and-road network where it is necessary and appropriate to introduce the priority of RPT» [3], it is necessary to determine which traffic conditions of public transport within this segment are negative. This can be established by certain signs of unsatisfactory traffic conditions for RPT (Pic. 2).

«Currently, there are no criteria for introducing dedicated lanes for RPT» [4]. These measures are implemented chaotically, without considering the capacity of the roadway. The actual minimum capacity of a segment of the street-and-road network depends on the capacity of the «narrowest» segments, i.e. complex at-grade intersections with multi-phase traffic light control.

Accordingly, there is a need to develop a methodology for calculating the efficiency of a dedicated lane considering the specified

criteria, modelling the movement of traffic flows on segments of the street-and-road network and determining the main stages of implementing the priority of urban passenger transport, which determines the relevance of this topic.

«To assess the possibility and efficiency of providing a priority lane for the RPT, it is possible to use the criterion of comparative transit capacity. If the value of this criterion exceeds one, then the introduction of priority can be considered effective and appropriate» [4].

$$K1 = \frac{(S1\varepsilon(n-1))}{(Q-q)}, \quad (1)$$

where S1 – capacity of one road lane, units/hour;

ε – coefficient of distribution of vehicles along the width of the roadway;

n – number of traffic lanes within the segment;

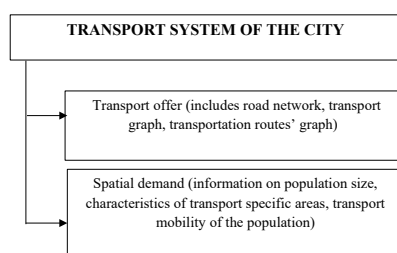
Q – traffic intensity within the segment, units/hour;

q – intensity of passenger transport traffic, units/hour [5].

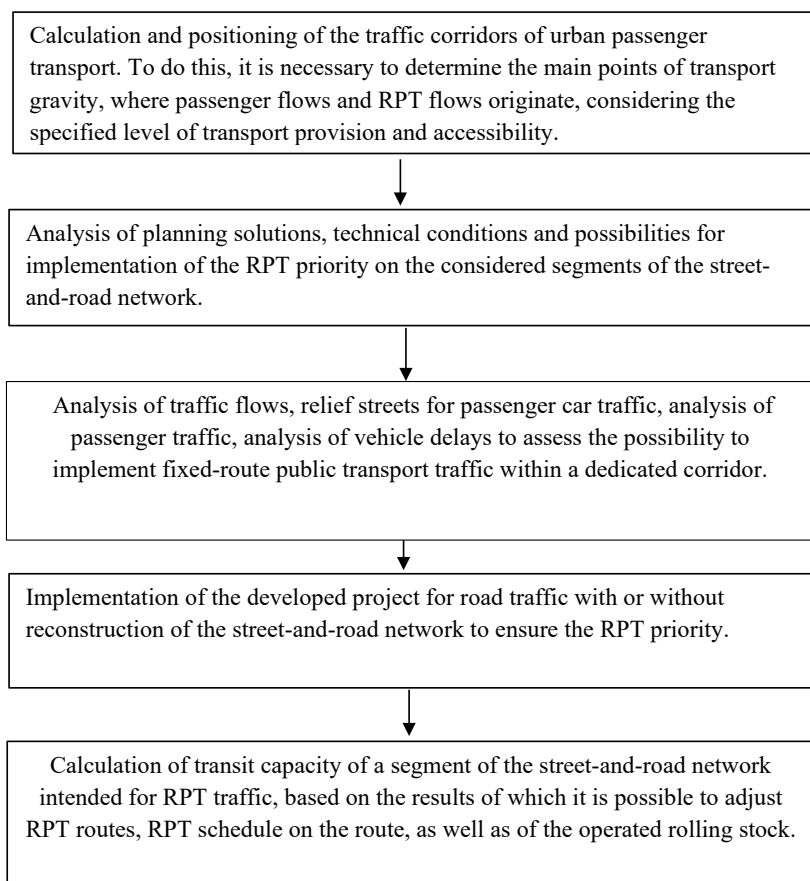
To decide on the necessity of introducing the priority of RPT traffic, it is mandatory to use the results of the survey of traffic conditions, traffic flow, and it is also necessary to consider the analysis of the effectiveness of the decision made, both from the technical and economic points of view.

«To assess the feasibility of introducing the priority right of movement of fixed-route passenger transport, such a criterion as a reduction in the time spent by road users on travel within the considered segment of the street-and-road network at a given occupancy rate of fixed-route passenger transport and passenger cars is used» [5].

«A computer model of the city's transport system using a software package allows for the calculation of passenger flows considering



Pic. 3. Model of the city's transport system [performed by the authors].



Pic. 4. The main stages of implementing the UPT priority [performed by the authors].

individual and public transport» [5]. «The model consists of two main parts» [6] (Pic. 3).

Determining the Optimal Variant of the Route Network of Urban Passenger Transport Based on Simulated Data and Expert Analysis

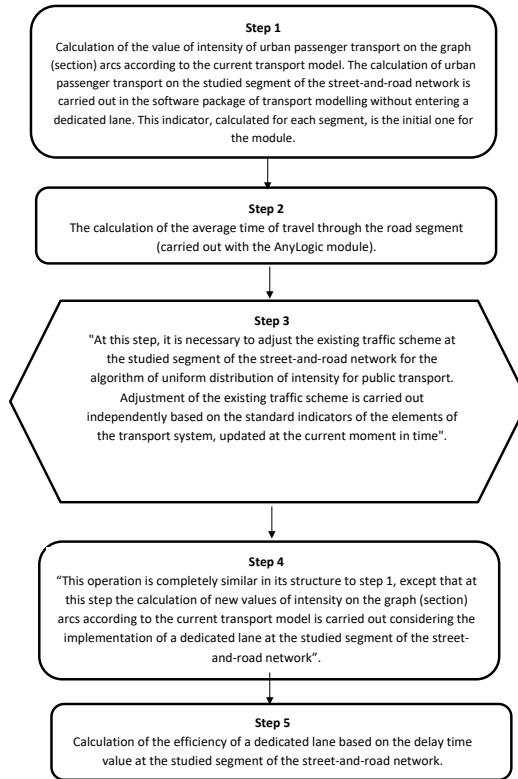
«To improve the structure of the route network of urban passenger transport, it is necessary to carry out preliminary modelling using mathematical tools, taking into account such indicators as the total travel time for «from door to door», the remoteness of stopping points,

the traffic frequency of urban passenger transport, the number of transfers during a passenger trip, safety, the rate of occupancy of the rolling stock, the cost of travel, the convenience of using transport, etc.» [7].

The algorithm for implementing the priority of fixed-route passenger transport is shown in Pic. 4.

The data for the calculations were collected by field survey, by counting the number of vehicles passing through the road segment. Then, to simplify the calculations, the total intensity is reduced to that given by formula (2):





Pic. 5. Calculation of the efficiency of the dedicated lane [performed by the authors].

$$Nr = \sum_{i=1}^n (Ni \cdot Fr), \quad (2)$$

where Ni is traffic intensity of vehicles of this type, car/hour;

Fr – reduction factors for this group of cars¹.

To determine the advisability of granting UPT priority, it is necessary to implement a certain algorithm of actions [8], using the appropriate software (Pic. 5).

The study performed considered a segment of the street-and-road network of the Central District of the city of Krasnodar at the intersection of Ofiterskaya Street and Neftyanikov Highway.

«Traffic along Ofiterskaya Street from the side of Dzerzhinsky Street is one-way, the width of the roadway is 9 meters, the number of traffic lanes on this section is three, both sides of the roadway are equipped with sidewalks 1,5 m wide, the road surface is asphalt concrete. After crossing Neftyanikov Highway, traffic becomes two-way, with a roadway width of 18 meters and six lanes» [9].

Road markings are applied on Ofiterskaya Street, the condition of this marking is assessed

as good. There is a traffic light at the intersection of Ofiterskaya Street and Neftyanikov Highway.

The intersection is shown in Pic. 6 on the map of the city of Krasnodar.

This intersection is controlled and equipped with a traffic light.

Also, during the work, a section of the street-and-road network of the Central District of the city of Krasnodar at the intersection of Ofiterskaya and Krasnaya Streets was considered.

«Traffic along Ofiterskaya Street is two-way, the width of the roadway along Ofiterskaya Street is 21 meters, the number of traffic lanes on this section is seven, on both sides of the roadway there are sidewalks 1,5 m wide, the road surface is asphalt concrete» [9].

Ofiterskaya Street has road markings, the condition of these markings is assessed as good.

The intersection is shown in Pic. 7 on the map of the city of Krasnodar.

This intersection is also controlled and equipped with a traffic light.

These intersections were chosen as the object of the study due to the high traffic intensity of both passenger and fixed-route vehicles. Its intensity is high because Ofiterskaya Street is

¹ Klinkovstein, G. I., Afanasyev, M. B. Road traffic management: Textbook [Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Uchebnik]. 4th ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1997, 231 p., 231 p. ISBN 5-277-01959-6.



Pic. 6. The intersection of Ofiterskaya Street and Neftyanikov Highway on the map of Krasnodar [compiled by the authors].



Pic. 7. The intersection of Ofiterskaya Street and Krasnaya Street on the map of Krasnodar [compiled by the authors].

an arterial street connecting three districts of the city: Central, Prikubansky and Festivalny Districts.

With the existing traffic management scheme on Ofiterskaya Street in the segment from Kolkhoznaya Street to Neftyanikov Highway, unimpeded entry into the city from Rostovskoye Highway and Kolkhoznaya Street is difficult. The scheme is shown in Pic. 8.

Under the current conditions and at the current traffic intensity, the average number of cars and the average travel time of this section per hour of traffic monitoring are estimated in the AnyLogic 8.7.5 program as 269 vehicles and 734 seconds.

During the survey of the intersection, various types of deficiencies were identified that interfere with normal traffic at the intersection of streets.

These exact deficiencies are proposed by the authors to be eliminated by changing the existing traffic management scheme and creating a RPT dedicated lane.

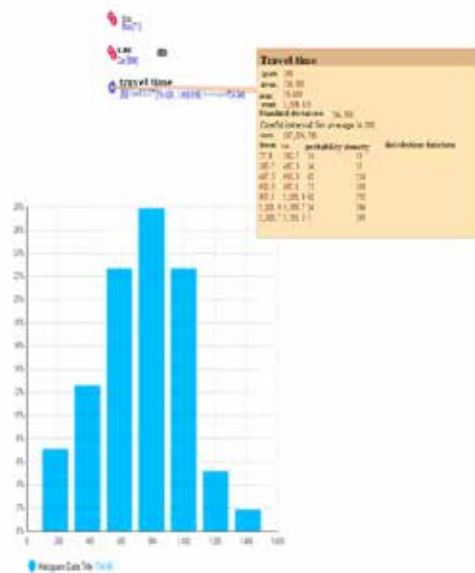
After conducting field observations and assessing the viability of the existing traffic management scheme, the conclusion can be made about the need to design an improved traffic management scheme for the considered segment of the street-and-road network to increase its transit capacity towards the city centre. Besides, there is a need to reduce road traffic accidents' rate at this segment and improve road traffic safety for other road users.

First, it is necessary to improve the visibility of existing traffic signs, some of which are practically invisible due to green spaces [10].





Pic. 8. The existing scheme of traffic management on Ofiterskaya Street [compiled by the authors].



Pic. 9. Results recorded in AnyLogic after an hour long experiment [performed by the authors, screenshot of the program window during the experiment].

Changes were suggested to the traffic management on Ofitserskaya and Krasnaya streets, and on Neftyanikov Highway².

Thus, for the intersection of Ofiterskaya Street and Neftyanikov Highway, it was suggested to reconstruct the intersection so that it could be passed without traffic lights.

We will consider the proposed recommendations for each side of the intersection.

Ofitserskaya Street from the side of Krasnaya Street:

- To make the segment of the street from Krasnaya Street to Neftyanikov Highway one-way.
- To make the rightmost lane dedicated to RPT.
- To increase the number of traffic lanes from 4 to 5.

- To make two rightmost lanes (1 and 2) intended for right turns onto Neftyanikov Highway towards Luzana Street.

- To allow moving from the third lane in the middle straight towards Dzerzhinsky Street and left into the second lane of Neftyanikov Highway.

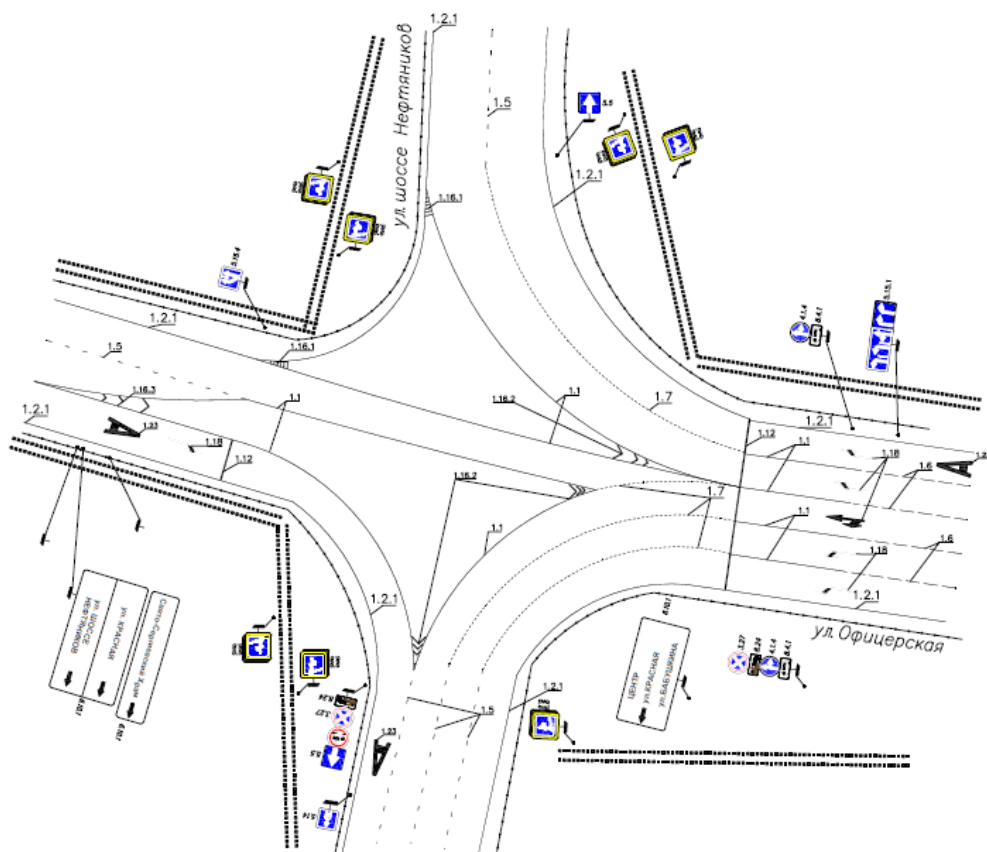
- To make two leftmost lanes (3 and 4) intended for left turns onto Neftyanikov Highway towards Krasnaya Street into the third and fourth lanes.

Thus, from this direction it will be possible to go in any of the three remaining directions.

Neftyanikov Highway towards Krasnaya
Street:

- To make the rightmost lane (1) dedicated for buses, it will be possible to get to it from the dedicated lane from Ofiterskaya Street going from Dzerzhinsky Street.
- To make lanes 2, 3 and 4 only accessed from Ofiterskaya from Krasnaya Street.

² It is called in full «Street of Neftyanikov Highway», for simplification will be called further in the article «Neftyanikov Highway». – Transl. note.



Pic. 10. Proposed scheme of traffic management at the intersection of Ofitserskaya Street and Neftyanikov Highway [performed by the authors].

As a result, this segment remains practically unchanged and gets a special lane for public transport.

Ofitserskaya Street from the side of Dzerzhinsky Street:

- To make the segment of the street from Dzerzhinsky Street to Neftyanikov Highway two-way, one lane going towards Neftyanikov Highway, two lanes going in the opposite direction.

- To make the lane towards Neftyanikov Highway dedicated for buses, allowing only turn right along the lane into the first lane of Neftyanikov Highway towards Krasnaya Street.

- To make the first lane of Ofitserskaya Street towards Dzerzhinsky Street only be accessed from Krasnaya Street, from the third lane.

- To widen the first lane to two lanes, for this it will be necessary to widen the street, which is two-lane now at its beginning from Dzerzhinsky Street.

As a result of reconstruction, we will have a two-way street with one lane towards Neftyanikov Highway and two lanes towards Dzerzhinsky Street.

Neftyanikov Highway towards Luzana Street:

- To eliminate the possibility of exiting onto Neftyanikov Highway from Ofitserskaya Street from the side of Dzerzhinsky Street.

- To allow entry onto Neftyanikov Highway only from Ofitserskaya Street from the side of Krasnaya Street from the first and second lanes to the second and first lanes of Neftyanikov Highway, respectively.

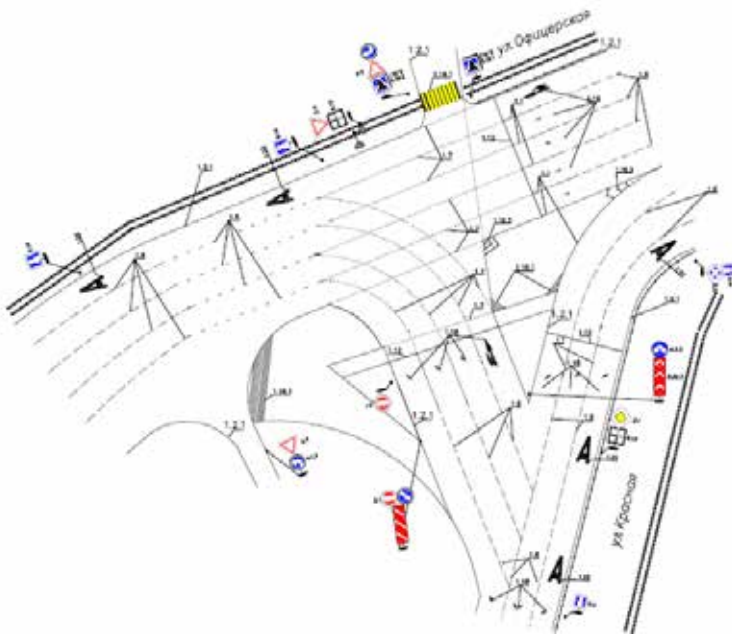
- To move the public transport stop further from the intersection.

As a result, the direction segment will remain practically unchanged, and moving the stop will reduce congestion at the intersection.

The proposed traffic management scheme is shown in Pic. 10.

The final stage of changing the intersection of Ofitserskaya and Krasnaya streets is reconstruction of the intersection in such a way as to reduce the number of conflict points [11]. We will consider the proposed recommendations for each side of the intersection.





Pic. 11. Proposed scheme of traffic management at the intersection of Ofiterskaya Street and Krasnaya Street [performed by the authors].



Pic. 12. Proposed scheme of traffic management at Ofiterskaya Street [performed by the authors].

Ofiterskaya Street from the side of Rostovskoye Highway³:

- To make the segment of the street from Kommunarov Street to Krasnaya Street five-lane.
- To make it possible to turn from the rightmost lane (1) right into Orlovsky lane or go straight into the first lane of Ofiterskaya Street.

³ Officially named «street of Rostovskoye Highway», same remark as for Neftyanikov highway. – Transl. note.

- To allow only straight traffic from lanes 2, 3, 4 and 5.

Thus, from this direction it will be possible to go either straight or into Orlovsky lane, as before, but the number of lanes from which it is possible to do this will be increased to five.

Krasnaya Street:

- To allow from the outer three lanes (1, 2, 3) to turn right unimpeded, without delay at the traffic light.



Pic. 13. Results recorded in AnyLogic during an hour long experiment [performed by the authors, screenshot of the program window during the experiment].

Table 1

Comparison of main indicators generated by AnyLogic [performed by the authors]

Travel time	Quantity	Average	Min	Max	Root-mean-squared deviation	Confidence interval for the average	Sum
Before	269	734.665	79.429	1508.19	284.563	34.006	197624.781
After	276	402.051	48.006	1362.975	229.637	27.092	110965.946

– To increase the number of lanes for straight movement and left turns by one.

– To allow straight movement and left turns into the second lane of Ofitserskaya Street towards Neftyanikov Highway from the fourth lane.

– To allow left turns into lanes 3, 4 and 5 from lanes 5, 6 and 7, respectively.

– To keep traffic light control only for straight movement and left turns.

As a result, the segment gets an additional lane for left turns and loses traffic light control for right turns towards Kommunarov Street.

Ofitserskaya Street towards Neftyanikov Highway:

- To make the segment of the street from Krasnaya Street to Neftyanikov Highway one-way.

• To increase the number of traffic lanes from 4 to 5.

• To allow access to all lanes from Ofitserskaya Street, from lane 1 to lane 1, from lane 2 to lane 2, respectively, etc., while from Krasnaya Street it will be possible to get into lanes 2, 3, 4 and 5 respectively and from Orlovsky Lane, only to lane 1.

After reconstruction, we will get a one-way street that can be accessed from any of the remaining three directions [12].

The proposed scheme of traffic management is shown in Pic. 11.

All the measures recommended for two intersections of Ofitserskaya Street will be effective if the following changes are additionally taken (Pic. 12):

– At the intersection of Ofitserskaya Street and Kommunarov Street, a left turn from Ofitserskaya Street (from the side of Rostovskoye Highway) to Kommunarov Street will be prohibited.

– A lane will be added to Kolkhoznaya Street for driving straight to Ofitserskaya Street.

– A lane will be added to Rostovskoye Highway for turning left to Ofitserskaya Street.

Under the proposed conditions and with the current traffic intensity, the average number of cars and the average travel time through this segment per hour of traffic monitoring are estimated in the AnyLogic 8.7.5 program as 3486 cars and 358 seconds.

The comparison of results is shown in Table 1.

If these recommendations are followed, it is possible to get rid of the traffic light control while turning onto Kommunarov Street from Ofitserskaya Street from the side of Rostovskoye Highway. Thus, on the segment of Ofitserskaya Street from Kolkhoznaya Street to Neftyanikov Highway there will be only three traffic lights, two for each direction of traffic.



BRIEF CONCLUSIONS

As a result of modelling the system, the conditions for movement of individual vehicles will worsen or remain unchanged, and the conditions for movement of urban passenger transport will improve. This may lead to redistribution of passenger traffic from individual vehicles to the vehicles of urban passenger transport, which will require recalculating transport flows in the further iterations [considering the change in the composition of the flow] [13].

Thus, based on the results of the experiment, it can be concluded that by applying this method in large cities, it is possible to achieve savings in the operating time of passenger transport [14]. This model is applicable not only to the transport system of Krasnodar, but also to the transport system of any city where there is an expressed need to reduce the congestion on the street-and-road network and the time it takes for people to move around the city [15].

REFERENCES

1. Dombrovsky, A. N., Konovalova, T. V., Kotenkova, I. N., Senin, I. S. Sustainable development of the urban transport system: Monograph [*Ustoichivoe razvitie gorodskoi transportnoi sistemy: Monografiya*]. Krasnodar, LLC «Publishing House – Yug», 2023, 232 p. ISBN 978-5-91718-731-0.
2. Bogomolov, A. A. Optimisation of routes of urban passenger transport in medium-size cities. Ph.D. (Eng) thesis [*Optimizatsiya marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta v srednikh gorodakh. Diss... kand. tekhn. nauk*]. Vologda, VSTU publ., 2002, 274 p.
3. Pugachev, I. N., Gorev, A. E., Solodkiy, A. I., Belov, A. V. Road traffic management [*Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*]. Moscow, Academia publ., 2013, 240 p. ISBN 978-5-7695-4789-8.
4. Konovalova, T. V., Dombrovsky, A. N., Nadiryan, S. L., Mironova, M. P. Assessment of efficiency of international transportation in transport logistics systems of the region: Monograph [*Otsenka effektivnosti mezhdunarodnykh perevozok v transportno-logisticheskikh sistemakh regiona: Monografiya*]. Krasnodar, KubSTU publ., 2021, 180 p. ISBN 978-5-91718-672-6.
5. Mikhailov, A. Yu., Golovnykh, I. M. Modern trends in design and reconstruction of street-and-road networks of cities [*Sovremennye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setei gorodov*]. Novosibirsk, Nauka publ., 2004, 267 p. ISBN 5-02-032091-9.

6. Borovaya, K. S., Sivakov, V. V., Tikhomirov, P. V. On the issue of improving the public transport route network [*K voprosu sovershenstvovaniya marshrutnoi seti obshchestvennogo transporta*]. Proceedings of V international scientific and practical conference «Scientific and technical aspects of the development of the motor transport complex». Gorlovka, ADI DONNTU publ., 2019, pp. 265–267. EDN: XIBLQM.

7. Fadyushin, A., Zakharov, D. Influence of the Parameters of the Bus Lane and the Bus Stop on the Delays of Private and Public Transport. *Sustainability*, 2020, Vol. 12 (22), 9593. DOI: 10.3390/su12229593.

8. Transport planning and modelling [*Transportnoe planirovaniye i modelirovaniye*]. Proceedings of II International scientific-practical conference «Transport planning and modelling». St. Petersburg, SPbGASU publ., 2017, 341 p. ISBN: 978–5–9227–0767–1.

9. Konovalova, T. V., Senin, I. S., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N. Analysis of transport problems of large and the largest cities [*Analiz transportnykh problem krupnykh i krupneishikh gorodov*]. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, Vol. 13, Iss. 1, pp. 126–136. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-126-136.

10. Dombrovsky, A. N., Konovalova, T. V., Kotenkova, I. N., Mironova, M. P., Nadiryan, S. L., Senin, I. S. City mobility as a factor of sustainable development of territories: Monograph [*Gorodskaya mobilnost kak faktor ustoichivogo razvitiya teritorii. Monografiya*]. Krasnodar, LLC «Publishing House–Yug», 2022, 208 p. ISBN: 978–5–91718–705–1.

11. Sergienko, N. L., Lakerbai, Z. K., Korotkova, T. G., Kotenkova, I. N., Antiptseva, Yu. O., Zakolyukina, A. M., Petrovskaya, O. A. Social-environmental aspects of creation of comfort environment on the example of Krasnodar agglomeration: Monograph [*Sotsialno-ekologicheskie aspekty sozdaniya komfortnoi sredy na primere Krasnodarskoi aglomeratsii. Monografiya*]. Krasnodar, KubSTU publ., 2022, 175 p. ISBN: 978–5–8333–1152–3.

12. Vuchik, V. R. Transport in the cities convenient for living [Edition in Russian: *Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni*]. Moscow, Territoriya budushchego, 2011, 576 p. ISBN 978-5-91129-058-0.

13. Datsyuk, A. M., Gorev, A. E., Popova, O. V. Organization of speed bus traffic and the scope of its application [*Organizatsiya skorostnogo avtobusnogo soobshcheniya i oblasti ego primeneniya*]. Proceedings of 67-th scientific conference of professors, teachers, researchers and Ph.D. students. In 5 p. Part III. St. Petersburg, SPbGASU publ., 2010, 250 p., pp. 89–94. ISBN 978-5-9227-0217-1.

14. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N. Algorithm for the formation of costs in transport, taking into account the technology of the transportation process. *Humanities, socio-economic and social sciences*, 2023, Iss. 1, pp. 191–193. DOI: 10.23672/SAE.2023.88.90.001.

15. Konovalova, T. V., Nadiryan, S. L., Kotenkova, I. N. Logistic approach to passenger transportation organization. *Humanities, socio-economic and social sciences*, 2023, Iss. 4, pp. 241–243. DOI: 10.23672/SAE.2023.26.93.002. EDN: EOFPRY.

Information about the authors:

Konovalova, Tatiana V., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Transport Processes and Technological Complexes of Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, tan_kon@mail.ru

Nadiryan, Sofia L., Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes of Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, sofi008008@yandex.ru

Kotenkova, Irina N., Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes of Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, ir-kot83@mail.ru

Senin, Ivan S., Senior Lecturer at the Department of Transport Processes and Technological Complexes of Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia, senin.ivan@inbox.ru

Article received 03.05.2023, approved after reviewing 15.05.2024, accepted 17.05.2024.



A New Approach to Determining Road Capacity



Alexey V. Tolkov

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,
Vladimir, Russia.*

Web of Science Researcher ID: AAE-1850-2019; Russian Science Citation Index

SPIN-code: 9599-5189; Russian Science Citation Index Author ID: 452603.

✉ tolkovaalex@yandex.ru.

Alexey V. TOLKOV

ABSTRACT

The objective of the study is to analyse capacity of a road which depends on many factors. The formula underlying the regulatory methodology for determining capacity relates the actual capacity to the maximum capacity through the final capacity reduction coefficient, consisting of the product of seventeen partial coefficients.

According to this methodology, it is recommended to use no more than six partial coefficients in calculations while defining a set of these partial coefficients for each specific case. And this is where the problem of choosing the most significant partial coefficients arises.

One of the central streets of the city of Vladimir, Gorky Street, was chosen as the object of study.

The objective was achieved with the observation method and experimental studies of intensity of vehicle traffic on the considered street.

Several cross-sections were selected along the length of the street for measuring traffic intensity and composition of traffic flow during rush hour. The parameter being determined is the final

coefficient of reduction in road capacity. It was calculated for each lane in the cross-section area. Then, its values were averaged over even and odd sides of the street, as well as along the length of the entire street.

This work uses, as an example, due to the small number of cross-sections, geometric interpolation with a Lagrange polynomial. Next, the maximum interpolation error was determined, and graphs were drawn of the dependences of the experimental and interpolated curves of the final coefficient of reduction in road capacity for even and odd sides of the street, as well as along the length of the entire street. For practical purposes, it is necessary to choose an interpolation method that will provide the minimum error. Thus, having a mathematically described curve, it is possible to determine the value of the final capacity reduction coefficient for any cross-section of the street.

The work has resulted in development of a methodology for experimental determination of road capacity, which allows one to determine the final capacity reduction coefficient for a specific, already existing road.

Keywords: road, capacity, method of experimental determination of road capacity.

For citation: Tolkov, A. V. A New Approach to Determining Road Capacity. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 223–229. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-2-8>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

An analysis of scientific works and research in the field of road traffic management led to the conclusion that there is insufficient depth of work related to the road capacity [1; 2; 3].

The road capacity depends on a large number of factors^{1, 2} [4]. The regulatory source for calculating road capacity is ODM 218.2.020–2012³. The formula underlying the methodology for determining capacity connects the actual capacity with the maximum one through the final capacity reduction coefficient, consisting of the product of 17 partial coefficients [5]. According to this methodology, it is recommended to use no more than six partial coefficients in calculations [6] by defining a set of these partial coefficients for each specific case. And this is where the problem of choosing the most significant partial coefficients arises.

The *objective* of the work is to study the road capacity. One of the central streets of the city of Vladimir, Gorky Street, was chosen as the object of study.

Research *methods* included observation and experimental studies on the intensity of vehicle traffic on the considered street.

METHODOLOGY

Several cross-sections were selected along the length of the road, in which traffic intensity and composition of traffic flow during rush hour were measured.

The parameter being determined is the final coefficient of reduction in road capacity (β) [6]. It was calculated for each lane in the cross-section area. Then, its values were averaged over even and odd sides of the street, as well as along the length of the entire street.

This work uses, as an example, due to the small number of points on the β curve, geometric interpolation with a Lagrange polynomial. Next, the maximum interpolation error was determined and graphs of the experimental and interpolated curves β were plotted for even and odd sides of the street, as well as along the length of the entire

street. For practical purposes, it is necessary to choose an interpolation method that will provide the minimum error.

Thus, having a mathematically described curve, it is possible to determine the value of β in any cross-section of the street.

In more detail, the methodology for experimentally determining the road capacity is as follows:

1. Collecting initial data:

1.1. Determining the number of cross-sections along the even (K_E) and odd sides (K_{OD}) of the street.

1.2. Determining the number of traffic lanes passing through each cross-section (n) [7, 8].

1.3. Determining maximum practical capacity (P_{\max})¹.

1.4. Determining rush hour time (t_{rh}) [9; 10].

1.5. Determining observation time interval (Δt) [11; 12].

1.6. Determining the distance between cross-sections on the even and odd sides of the street ($x_0, x_1, \dots, x_{K_E(K_{OD}-1)}$).

2. Calculating vehicle traffic intensity (N) in each cross-section and its reduction [13–15].

3. It is assumed that the actual capacity is equal to the measured traffic intensity ($P = N$), since traffic intensity measurements were carried out during rush hour.

4. Calculating β using the formula (1)¹:

$$\beta = P / P_{\max},$$

where P is actual capacity, reduced cars/hour:

– for each lane in the cross-section ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$);

– for the even ($\beta_{1e}, \beta_{2e}, \dots, \beta_{K_E}$) and odd ($\beta_{1od}, \beta_{2od}, \dots, \beta_{K_{OD}}$) sides of the street in each cross-section by averaging β over traffic lanes;

– for the entire street ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{K_{street}}$) by averaging the values on the even and odd sides of the street in cross-sections.

5. Selecting a method for interpolating functions β ($\beta = f(x)$).

6. Drawing up a system of equations (SE) of interpolation and choosing a step (Δx).

7. Writing a computer program for solving the SE.

8. Drawing up experimental ($\beta_e = f(x)$) and interpolated ($\beta_{int} = f(x)$) curves β . Determination of error $\Delta\beta(x)$.

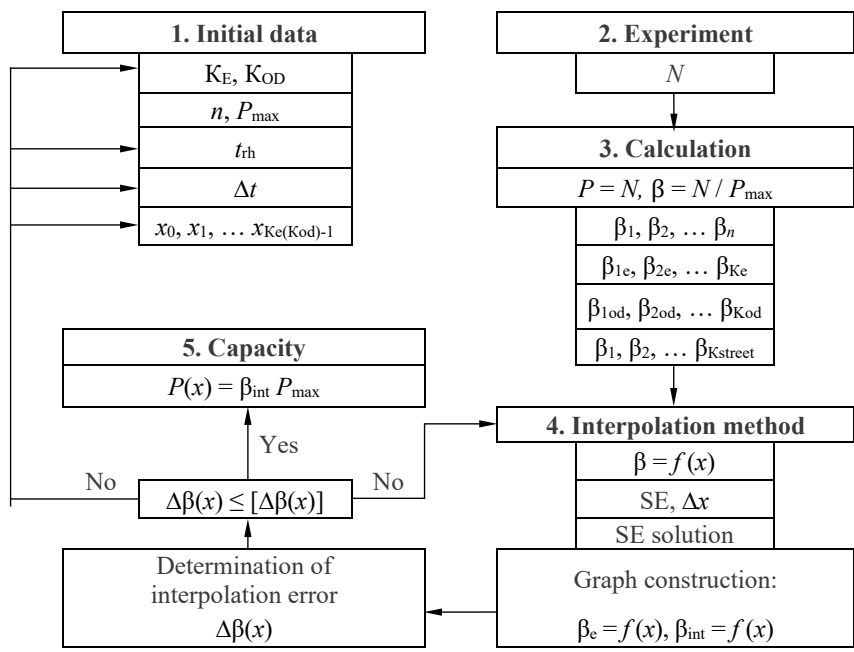
9. To obtain the capacity value at a street point $P(x)$, it is necessary to multiply the corresponding value of β by P_{\max} .

10. Providing measures to reduce $\Delta\beta(x)$ and clarify β_e :

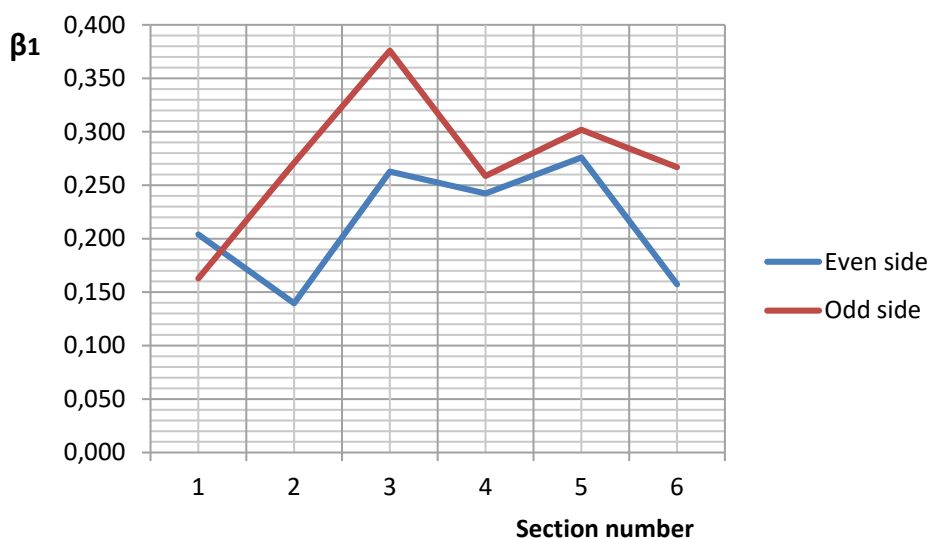
¹ Tolkov, A. V. Improving traffic at intersections: Study guide. Vladimir, VLSU publ., 2018, 180 p. ISBN 978-5-9984-0852-6.

² Tolkov, A. V. Master's final qualifying work: Study guide. Vladimir, VLSU publ., 2021, 128 p. ISBN 978-5-9984-1403-9.

³ ODM 218.2.020–2012 [Road industry's methodological documents]. Methodological recommendations for assessing the capacity of highways. Federal Road agency. Moscow, ROSAVTODOR, 2012, 148 p.



Pic. 1. Flow diagram of the methodology for experimental determination of road capacity [performed by the author].



Pic. 2. Distribution graph of β_1 by first lanes of the street [performed by the author].

- increase in the number of cross-sections (clause 1.1);
- increase in observation time (clause 1.4) [14; 15];
- decrease in Δt (clause 1.5);
- more accurate measurement of distances between cross-sections (clause 1.6);
- selection of the exact interpolation method (clause 6).

The flow diagram of the technique is shown in Pic. 1.

RESULTS

As an example, a study of Gorky Street in the city of Vladimir is described. The number of cross-sections under consideration (six were selected, located in the area of stopping points (SP)) and traffic lanes, the values of the maximum practical capacity, the results of measuring vehicle traffic intensity and the calculation of β by lane are shown in Table 1.

The distribution graph of β along the first lanes of the street is shown in Pic. 2.



Calculation of β per lanes [performed by the author]

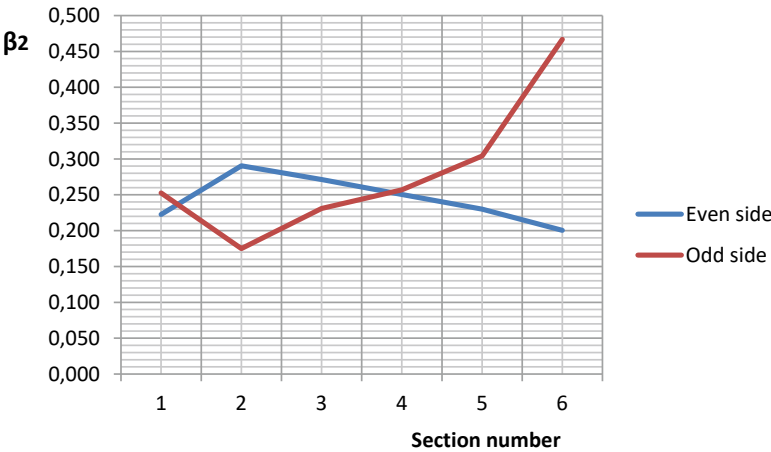
Table 1

SP	Side of the street	Number of a lane	$P_{\max}^?$ passenger cars/hour	P , red. cars/ hour	β
1 st r.Sodyshka	Even	1	2300	204	0,089
		2	2300	734	0,319
		3	2300	512	0,223
	Odd	1	2300	142	0,062
		2	2300	607	0,264
		3	2300	581	0,253
2 nd Gastello street	Even	1	2200	307	0,140
		2	2200	639	0,290
	Odd	1	2200	596	0,271
		2	2200	385	0,175
3 rd VLSU	Even	1	2200	578	0,263
		2	2200	597	0,271
	Odd	1	2200	827	0,376
		2	2200	508	0,231
4 th Lenin square	Even	1	2200	533	0,242
		2	2200	551	0,250
	Odd	1	2200	569	0,259
		2	2200	565	0,257
5 th Vspolie	Even	1	2200	607	0,276
		2	2200	506	0,230
	Odd	1	2200	664	0,302
		2	2200	669	0,304
6 th Yurievskaya zastava	Even	1	2200	346	0,157
		2	2200	441	0,200
	Odd	1	2200	587	0,267
		2	2200	1027	0,467

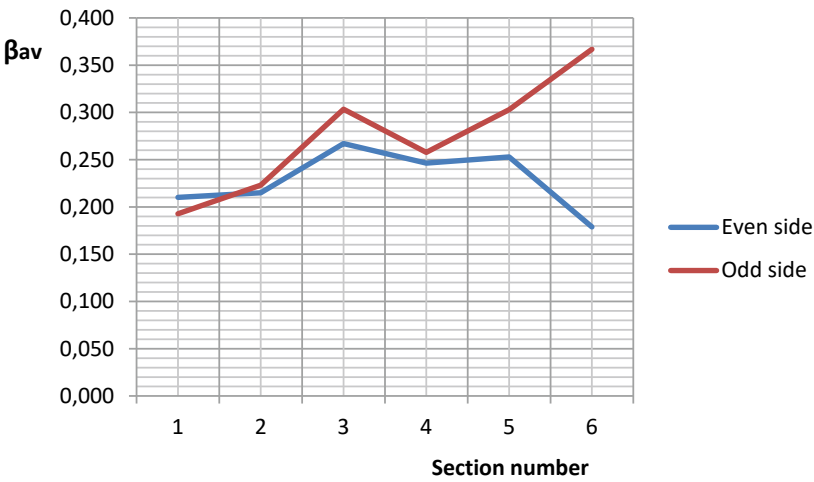
Table 2

Initial data for the system of interpolation equations [performed by the author]

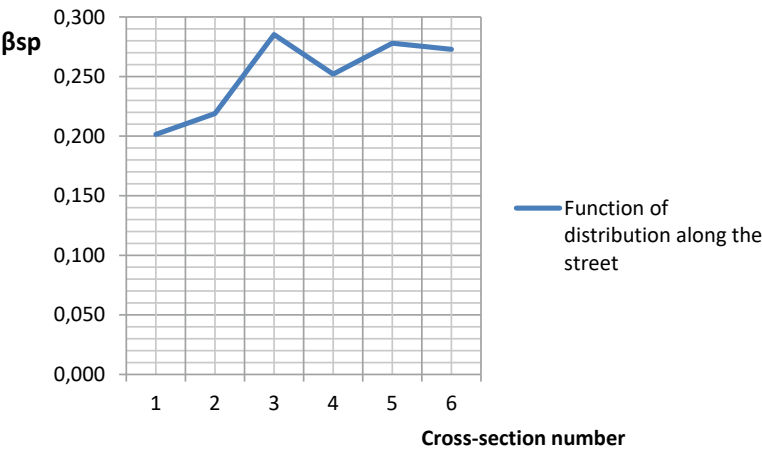
Along the entire street					
x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
0,00 km	0,53 km	0,95 km	1,60 km	2,15 km	2,65 km
β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
0,201	0,219	0,285	0,252	0,278	0,273



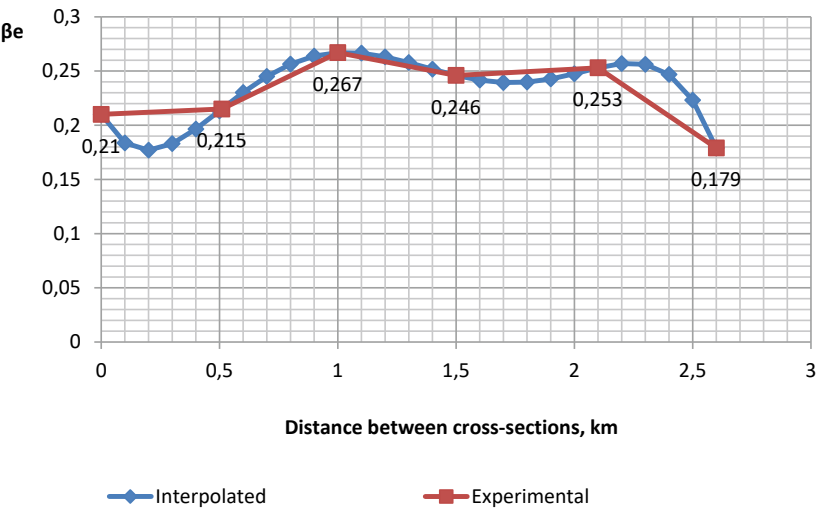
Pic. 3. Distribution graph of β_2 by second lanes of the street [performed by the author].



Pic. 4. Distribution graph of the coefficient β_{av} on even and odd sides of the street [performed by the author].

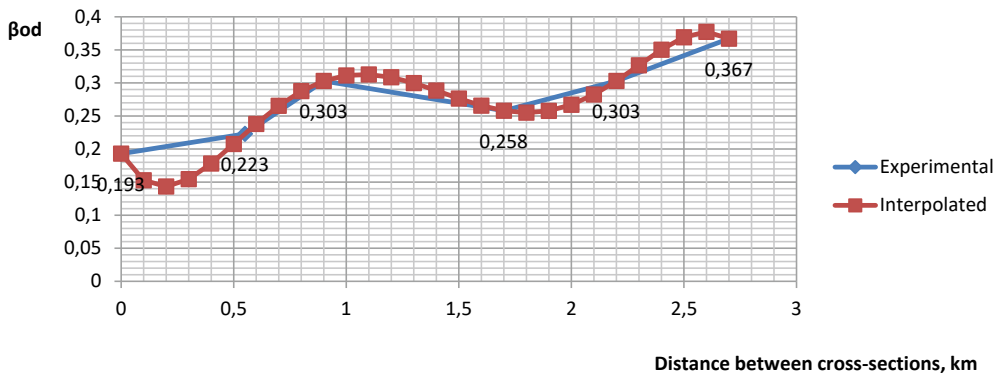


Pic. 5. Distribution graph of the coefficient β_{sp} along the entire street [performed by the author].



Pic. 6. Comparison of experimental and interpolated curves β_e on the even side of the street [performed by the author].





Pic. 7. Comparison of experimental and interpolated curves β_{od} on the odd side of the street [performed by the author].

The distribution graph of β along the second lanes of the street is shown in Pic. 3.

The distribution graph of averaged β on the even and odd sides of the street is shown in Pic. 4, and the distribution graph for the entire street is shown in Pic. 5.

The work, due to the small number of points on the β distribution curve, applied geometric interpolation using a Lagrange polynomial.

The initial data for compiling a system of interpolation equations are the distances between cross-sections along the length of the street, and also the values of β corresponding to these cross-sections (Table 2).

Further, to automate the calculations, programs were written in MATLAB.

A comparison of the experimental and interpolated β curves on the even side of the street is shown in Pic. 6.

The error is $\Delta x_{\max} = |x_{\text{int}} - x_{\text{exp}}| = 0,043$ (21,3 %).

A comparison of the experimental and interpolated β distribution curves obtained on the odd side of the street is shown in Pic. 7.

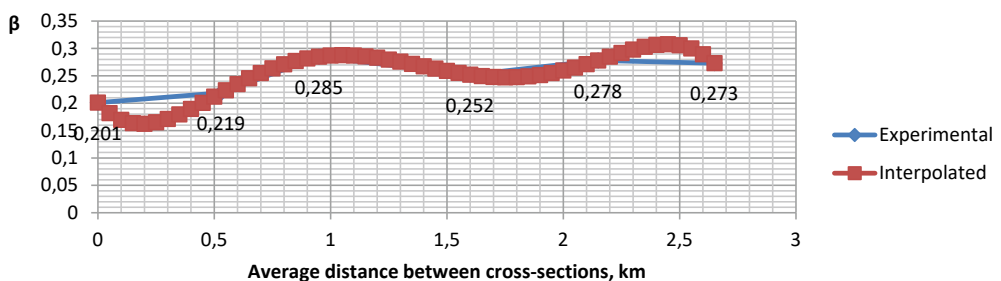
The error is $\Delta x_{\max} = |x_{\text{int}} - x_{\text{exp}}| = 0,0617$ (30,0 %).

A comparison of the experimental and interpolated β distribution curves obtained along the length of Gorky Street is shown in Pic. 8.

The maximum interpolation error is $\Delta x_{\max} = |x_{\text{int}} - x_{\text{exp}}| = 0,0477$ (22,7 %).

CONCLUSIONS

A methodology has been developed that allows one to determine the final capacity reduction coefficient of a particular road (street) under specific road conditions and the composition of the traffic flow. This indicator is defined as the ratio of the actual road capacity to the maximum practical capacity. The essence of the technique is to obtain the actual distribution curve of the final capacity reduction coefficient along the length of a particular road and compare it with the curve obtained using the interpolation method (mathematical description of the actual curve). The criterion for accuracy of the technique is the interpolation error. Having



Pic. 8. Comparison of experimental and interpolated curves β , obtained along the length of Gorky Street [performed by the author].

a mathematically described curve, it is possible to determine the value of the final capacity reduction coefficient for any cross-section of the street.

Recommendations have been developed to reduce the error of the methodology, aimed at increasing the number of cross-sections (observation points) along the length of the road, increasing the total time of observation of traffic flows (to obtain a larger volume of data), reducing the time interval for recording vehicles (to obtain a more accurate image of changes in the intensity of traffic flows over time), choosing a more accurate method for measuring distances between cross-sections and the interpolation method.

REFERENCES

1. Loktionova, A. G., Shevtsova, A. G., Kopylova, E. V., Shchetinin, N. A. Study of heterogeneity of dynamic indicators of passenger cars to improve the efficiency of urban transport systems [Issledovanie raznorodnosti dinamicheskikh pokazatelei legkovykh avtomobilei dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskikh transportnykh sistem]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2023, Iss. № 3–4 (82), pp. 47–53. EDN: EDWVUI.
2. Isakov, K. I., Stasenko, L. N., Altybaev, A. Sh., Dayyrbekova, D. Influence of traffic light control cycle parameters on the capacity of controlled intersections [Vliyaniye parametrov tsikla svetofornogo regulirovaniya na propusknuyu sposobnost reguliruemyykh peresechenii]. *Vestnik SibADI*, 2019, Iss. 16 (2), pp. 146–155. EDN: ZGXJIF.
3. Volchenko, S. V. Increasing the capacity of road networks based on assessing the interaction of traffic flows with main city roads. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie propusknoi sposobnosti UDS na osnove otsenki vzaimodeistviya transportnykh potokov s gorodskimi magistrallyami. Avtoref.dis...kand.tekh.nauk]. Volgograd, VolGASU publ., 2014, 24 p. [Electronic resource]: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl0100553696?page=1&rotate=0&theme=white>. Last accessed 22.12.2023. EDN: XAWLTQ.
4. Volchenko, S. V. Increasing the capacity of urban roads based on assessing the speed limit of traffic flows [Povyshenie propusknoi sposobnosti gorodskikh dorog na osnove otsenki skorostnogo rezhima transportnykh potokov]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Construction. Series: Construction and Architecture*, 2013, Iss. 32 (51), pp. 153–159. EDN: RUGTPH.
5. Aleksikov, S. V., Belikov, G. I., Pshenichkina, V. A., Volchenko, S. V. Increasing the speed of vehicles based on traffic regulation along the «green wave» [Povyshenie skorosti avtotransporta na osnove regulirovaniya dvizheniya po «zelenoi volne»]. *Internet-vestnik VolGASU. Ser.: Polymathic*, 2013, Iss. 2 (27). [Electronic resource]: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AleksikovBelikov_PshenichkinaVolchenko1–2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AleksikovBelikov_PshenichkinaVolchenko1–2013_2(27).pdf). Last accessed 22.12.2023.
6. Volchenko, S. V. Methods for reducing load factor at controlled intersections [Metody snizheniya koeffitsienta zagruzki na reguliruemyykh peresecheniyakh]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Construction. Series: Construction and Architecture*, 2009, Iss. 13 (32), pp. 74–77. EDN: KWMLXB.
7. Shevtsova, A. G., Burlutskaya, A. G., Yung, A. A. Estimation of the influence of vehicle parameters on the saturation flux value [Otsenka vliyaniya parametrov avtomobilei na znachenie potoka nasyscheniya]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2022, Iss. 1, pp. 126–134. EDN: DBSYGJ.
8. Loktionova, A. G., Shevtsova, A. G. Assessment of technical parameters of cars in traffic flow [Otsenka tekhnicheskikh parametrov avtomobilei v transportnom potoke]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2022, Iss. 4–2 (79), pp. 75–80. EDN: ZLVDRN.
9. Loktionova, A. G., Shevtsova, A. G. Determination of the dynamic indicator of a car in the traffic flows of the urban transport system [Opredelenie dinamicheskogo pokazatelya avtomobilya v transportnykh potokakh gorodskoi transportnoi sistemy]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2023, Iss. 1–2 (80), pp. 37–42. EDN: AUSIDO.
10. Loktionova, A. G. Increasing the efficiency of traffic light regulation taking into account changes in the dynamic performance of vehicles. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti svetofornogo regulirovaniya s uchetom izmeneniya dinamicheskikh pokazatelei avtotransportnykh sredstv. Avtoref.dis...kand.tekh.nauk]. Oryol, Turgenev OSU, 2023, 24 p. [Electronic resource]: https://oreluniver.ru/public/file/defence/a_Loktionova_Alina_Gennadevna_28.02.2024.pdf. Last accessed 05.03.2024.
11. Dorokhin, S. V., Artemov, A. Yu. Development of methods for managing traffic flows in small and medium-sized cities [Razvitiye metodov upravleniya transportnymi potokami v malykh i srednikh gorodakh]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2022, Iss. 1–1 (80), pp. 60–67. EDN: EOYCQJ.
12. Dorokhin, S. V., Artemov, A. Yu. A method for assessing the effectiveness of a coordinated type of control on a main street [Sposob otsenki effektivnosti raboty koordinirovannogo tipa upravleniya na magistralnoi ulitse]. *Vestnik SibADI*, 2023, Iss. 5 (93), pp. 586–599. EDN: OHGMZO.
13. Artemov, A. Yu. Study of traffic flow management on the main street in Pavlovsk [Issledovanie upravleniya transportnymi potokami na magistralnoi ulitse g. Pavlovsk]. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik*, 2023, Vol. 1, Iss. 1 (43), pp. 107–116. EDN: VQJWYE.
14. Dorokhin, S. V., Artemov, A. Yu. Assessing the effectiveness of the coordinated area [Otsenka effektivnosti raboty koordiniruемого uchastka]. *Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik*, 2022, Vol. 2, Iss. 2 (40), pp. 64–73. EDN: KZHQHF.
15. Artemov, A. Yu. Increasing the efficiency of traffic flow management on the main streets of small and medium-sized cities. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti upravleniya transportnymi potokami na magistralnykh ulitsakh malykh i srednikh gorodov. Avtoref. dis...kand.tekh.nauk]. Oryol, Turgenev OSU, 2023, 24 p. [Electronic resource]: https://oreluniver.ru/public/file/defence/a_Artemov_Aleksandr_YUrevich_28.02.2024.pdf. Last accessed 05.03.2024.

Information about the author:

Tolkov, Alexey V. Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transport, Safety and Quality Control of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (VLSU), Vladimir, Russia, tolkovaalex@yandex.ru.

Article received 26.10.2023, approved 05.02.2024, updated 05.03.2024, accepted 12.03.2024.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-9>World of Transport and Transportation, 2024,
Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 230–233

Changes in the Principles of International Economic Relations as a Factor in Development of the International North–South Transport Corridor



Andrei V. Dzhangiryan
JSC Russian Railways, Moscow, Russia.
✉ avd93@mail.ru.

Andrei V. DZHANGIRYAN

ABSTRACT

The context of ongoing changes in the directions of cargo flows passing through the territory of the Russian Federation, as well as a rethinking of the basic principles of world trade regulation generates an additional interest in the study of the impact of these processes on the dynamics of implementation of projects for development of the International North–South Transport Corridor.

The paper refers to the analysis of the main reasons and trends in changing the principles of international economic relations highlighting the development prospects and growing demand for

the North–South ITC, the importance of creating effective mechanisms for advanced attraction of investment resources to provide new projects for development of the corridor with sources of financing. Approaches are proposed for appropriate adaptation of the process of preparing investment projects aimed at developing the infrastructure of the North–South ITC. The study notes the importance of conducting further research aimed at increasing the economic efficiency of design, construction and operation of this corridor.

Keywords: principles of international economic relations, transport, North–South ITC, investment projects, financing, foreign investors, transport policy.

For citation: Dzhangiryan, A. V. Changes in the Principles of International Economic Relations as a Factor in Development of the International North–South Transport Corridor. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 230–233. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-9>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

The starting point in the process of transformation of the principles of international economic relations is considered to be 2016. The transition from the previously dominant paradigm of globalisation of the world economy to formation of bilateral interstate economic relations, initiated by the largest world economy, provoked a weakening of the previously applied norms of international economic relations (IER).

The traditional pillars of international economic relations were considered to be non-confrontationism, free movement of labour and capital, objectivity, mutual benefit. The materialisation of these foundations occurred, among other things, in the principles of the World Trade Organisation, which included:

- the principle of most favoured nation, which enshrines a non-discriminatory regime in relation to «goods and suppliers from foreign member states of the organisation» [1];

- the principle of transparency, which implies the non-application of unpublished regulatory legal acts to foreign suppliers of goods and services;

- the principle of national treatment, which establishes a non-discriminatory regime for foreign goods and services in comparison with national market participants.

At the same time, to create unilateral advantages for their own national economy, a number of states began to actively apply the mechanism of tariffs and duties to protect the domestic market from more competitive economies. This phenomenon was described in classical German economic theory. Friedrich List, who formulated five stages of development of each country, became famous for developing the theory of protectionism:

- «primitive undeveloped stage (the savage);
- the pastoral;
- the agricultural;
- the agricultural and manufacturing;
- the agricultural, manufacturing, and commercial» [2].

At the same time, it should be noted that the German scientist, who is often referred to by supporters of protectionist approaches, pointed out the advisability of using protective duties exclusively during the transition from an agricultural system to an industrial one, believing that barriers to international trade are inappropriate.

This trend received additional development with the beginning of the active use of the

mechanism of restrictive sanctions. If in the context of tariffs and duties we can talk about the need to support national producers during periods of «difficult economic situations» [3] and the use of dumping mechanisms by foreign states, then the goal of the sanctions policy is to influence the development of individual sectors of the economy of foreign countries. This policy creates barriers to world trade and directly affects the rate of global economic growth due to emerging problems with «financing new projects» [4], the supply of goods and services, and their movement across state borders.

In these conditions, we can talk about a round of regionalisation of the world economy, when ignoring WTO norms and rules coincides with the active development of regional economic associations that «collectively» [5] apply tariffs and duties. An example is the discussion on imposing temporary tariffs on the PRC imports, including on electric vehicles¹.

The objective of the study, the main results of which are presented in the article, is to analyse the impact of the transformation of the main principles of world trade regulation on implementation of large interregional transport and infrastructure projects using the example of the development of International North–South Transport Corridor (ITC). The main research tools were methods of economic comparative analysis, as well as factor and system methods.

RESULTS

The sanctions pressure and the use of prohibitive duties have also significantly influenced the development vector of the transport component of the Russian economy. The radical degradation of economic relations with the largest partner, the European Union, and the reorientation of exports and imports flows from the East–West direction to the North–South ITC have affected the priorities for development of the national transport system.

The main component of international transport corridors on the territory of the Russian Federation is the railway component. The Russian railways system, due to the measures implemented by JSC Russian Railways to develop the ITCs passing through the country's territory, was able to cope with these changes,

¹ EU Goes on China Trade Offensive After Getting 'Played' [Electronic resource]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-04-15/eu-goes-on-china-trade-offensive-after-getting-played-for-years>. Last accessed 15.04.2024.



defining the creation of conditions «for further growth of foreign trade cargo flow» [6] as a priority task. Starting from 2022, in terms of railway transport, we can state a dynamic change in the directions of international cargo flows. Rail transportation is actively developing with friendly countries, whose share in exports in 2023 exceeded 81 %. The freight transportation has grown by 2–3 times in some directions²

The main directions of transportation of international goods are approaches to the ports of the North-West part of the country, the Azov-Black Sea basin, and the Eastern direction, including the Eastern polygon. However, in the new conditions, priority is given to «development of the International North–South Transport Corridor» [7]. An increase in the volume of cargo transportation is noted on all branches of the corridor (Western, Eastern and Trans-Caspian routes)³. 11,59 mln t of goods were transported by railways through North–South ITC in 2023 as compared to 10,21 mln t in 2022⁴. For this reason, the priority activities are development of the Derbent railway checkpoint and the transfer of the Derbent – Samur section to an AC traction system, as well as construction of the Rasht – Astara railway section.

Several authors point to the significant potential of the North–South ITC and various aspects of its development [8–11].

In such conditions, the need to implement new corridor development projects will only increase. This implies the need to attract private capital from interested parties to their implementation. From the point of view of the influence of global economic transformation processes, the most susceptible elements of project assessment will be the risk assessment system and guarantees of return on invested capital.

² The growth in 2023 of international freight transportation was highlighted by Russian Railways [In Russian]. RBK news agency. 19.03.2024. [Electronic resource]: <https://www.rbc.ru/industries/news/65f9b0c69a79472ffbdbeb04>. Last accessed 10.04.2024.

³ Volume of cargo transportation on the North–South International Transport Corridor since the beginning of 2023 [In Russian]. Website of JSC Russian Railways. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=213166&ysclid=m20i6vytrw149477316>. Last accessed 10.04.2024.

⁴ The volume of sea cargo transported via North–South ITC has increased by 55 % during 2023 [In Russian]. Website Marine News of Russia. 12.02.2024. [Electronic resource]: <https://morvesti.ru/news/1678/107534/>. Last accessed 10.04.2024.

Ensuring repayment in public-private partnership projects, the most common format for implementing transport infrastructure development projects with private capital, in the described new economic realities can be achieved in the following ways.

Firstly, this is the state guaranteeing the financial sustainability of the project subject to changes in economic conditions in the country. This can be implemented through the state guaranteeing payment for provision of infrastructure, regardless of its degree of its loading; facilitating the use of the «take or pay» mechanism in relations between the carrier and the shipper; state subsidising tariffs for transportation in the context of negative market conditions for transportation, formed through no fault of the carrier.

Secondly, in case of a significant impact of sanctions on the parameters of the project, a mechanism can be provided for its early transfer to the perimeter of the state with fair compensation for the costs incurred by investors for its implementation or an increase in the nominal share in the project by the state through an additional issue that does not lead to a change in the project management process.

The most important factor in the return on investment of projects that ensure economic relations between states in the context of changing principles of international economic relations, leading to a change in the direction of cargo transportation, is the state's guarantee of the application of non-discriminatory regulatory and support measures in relation to various sectors of the transport system.

The risk assessment of the project for development of the transport infrastructure of the North–South ITC must equally be adapted to the modifications of IER. This approach is largely consistent with the concept of multi-criteria assessment in decision-making in transport policy [12].

Thus, taking as a foundation a risk assessment system based on the stages of project implementation («construction stage, operation stage» [9]), it is necessary to supplement the assessment results with adjustments for the counterparty risk at the end of each stage, which will be the state, absorbing both country and geopolitical risks. In this context, when updating or making adjustments to a project, it is necessary to describe the risk scenarios and index them depending on the degree of influence on the project and the likelihood of implementation.

The risk categories that should be considered in the projects for development of North–South ITC should include:

- sanctions against shippers; banking institutions working with them; logistics operators,
- conventional restrictions adopted for political reasons that have a medium- and long-term impact on transportation volumes,
- military and political situation,
- refusal by the state to continue implementing the project,
- failure by the state to fulfil its obligations due to the lack of available funds in the budget.

Each corridor project will have its own indexation according to the specified parameters, which will allow for derivation of a parameter for adjusting the risk assessment results.

BRIEF CONCLUSIONS

In general, the growing demand for the North–South ITC as an important factor in transport and logistics connectivity demonstrates the productive adaptation of large transport, infrastructure and logistics projects to the process of changing the principles of IER and the resulting conditions.

An important task in this context is the transformation of the elements of the economic assessment of transport corridor projects to ensure its attractiveness for private investors, whose capital is a necessary condition for intensive development of the North–South ITC.

The elements that require the greatest attention in this context are the mechanism for ensuring the return on investment and assessing project risks, and approaches to their revision in the current conditions.

The proposals that be developed based on the above can be implemented in the practices of project management of large infrastructure companies and the development of state policy in the field of development of the North–South ITC.

REFERENCES

1. Chernysheva, N. A. Russia in the WTO: problems and prospects [Rossiya v VTO: problemy i perspektivy]. Moscow, MGIMO-University, 2013, 232 p. ISBN 978-5-9228-0954-2.
2. List, F. National system of political economy [Natsionalnaya sistema politicheskoi ekonomii]. St.

Petersburg, A. E. Mertens publ., 1891, 452 p., pp. 131–133.
3. Garmashova, E. P., Drebot, A. M., Baranov, A. G., Mitus, A. A., Tarabardina, M. Yu. Sanctions as means of international enforcement: main types and theoretical approaches to the concept. *Journal of International Economic Affairs*, 2020, Vol. 10, Iss. 3, pp. 649–662. DOI: 10.18334/eo.10.3.110824.
4. Golovin, Ar. A., Golovin, A. A., Parkhomchuk, M. A. Consequences of global economic sanctions for the national economy [Posledstviya mirovykh ekonomicheskikh sanktsii dlya nationalnoi ekonomiki]. *Fundamental research*, 2018, Iss. 11–2, pp. 216–221. EDN: YPSKHJ.
5. Kurdyukov, G. I. International economic sanctions (application in the practice of the UN Security Council) [Mezhdunarodnie ekonomicheskie sanktsii (primeneniye v praktike Soveta Bezopasnosti OON)]. *Mari legal bulletin*, 2001, Vol. 1, Iss. 1, pp. 170–176. EDN: UKKRFH.
6. Macheret, D. A., Razuvaev, A. D., Ledney, A. Yu. Long-term retrospective analysis of uneven loading of goods on railway transport [Dolgosrochniy retrospektivniy analiz neravnomernosti pogruзки грузов na zheleznodorozhnom transporte]. *Transport of the Russian Federation*, 2022, Iss. 1–2 (98–99), pp. 31–35. EDN: DWAVBR.
7. Dzhangiryan, A. V. Growth of transit cargo flows as a key stimulus for development of transport infrastructure in modern conditions [Rost tranzitnykh gruzopotokov kak klyuchevoi stimul razvitiya transportnoi infrastruktury v sovremennykh usloviyakh]. *Proceedings of the International scientific and practical conference. Modern economic problems of development and operation of transport infrastructure*. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2020, pp. 24–27. EDN: VXDODA.
8. Tikhomirov, A. A., Martyshkin, R. V. Main vectors of development of transport infrastructure of the North–South International Transport Corridor in new macroeconomic conditions [Osnovnie vektory razvitiya transportnoi infrastruktury MTK «Sever – Yug» v novykh markoekonomicheskikh usloviyakh]. *Vestnik transporta*, 2022, Iss. 11, pp. 23–24. EDN: LCVMSG.
9. Luzyanin, S. G., Semenova, N. K. International North–South Corridor: The Transport Project, or Big Geopolitics? *Asia and Africa Today*, 2023, Iss. 12, pp. 5–14. DOI: 10.31857/S032150750029003-5.
10. Mineev, V. I., Pochekaev, D. A. Reloading of the international transport corridor «North–South». *Russian Journal of Water Transport*, 2023, Iss. 74, pp. 105–116. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.350>.
11. Zakharov, A. I. The International North–South Transport Corridor: The Prospects and Challenges for Connectivity between Russia and India. *MGIMO Review of International Relations*, 2023, Iss. 16 (2), pp. 216–234. DOI: <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2023-2-89-216-234>.
12. Karlov, A. V. Decision-Making Methods in Transport Policy: a Multi-Criteria Approach. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1, pp. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>.
13. Dzhangiryan, A. V. Formation of a risk profile in the economic assessment of a railway infrastructure construction project [Formirovaniye risk-profilya pri ekonomicheskoi otsenke proekta stroitelstva zheleznodorozhnoi infrastruktury]. *Transportnoe delo Rossii*, 2022, Iss. 4 (161), pp. 3–4. DOI: 10.52375/20728689_2022_4_3.

Information about the author:
Dzhangiryan, Andrei V., Advisor to the Deputy General Director of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, avd93@mail.ru.

Article received 15.04.2024, approved 16.05.2024, accepted 17.05.2024.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-10>World of Transport and Transportation, 2024,
Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 234–237

Greater Eurasian Partnership – a «Great» Chance for the Russian Transport Industry?



Roman N. PARKHOMENKO



Irina V. BYKOVA

*Roman N. Parkhomenko¹,
Irina V. Bykova²*

^{1, 2}Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ² irabyk80@mail.ru

ABSTRACT

The article deals with the priorities of the Russian Federation's Transport Strategy in the context of forming the «Greater Eurasian Partnership». The key area is development of international transport corridors in Eurasia.

The authors, summarising in a brief review documents, their own publications and the works of other authors on this topic, emphasise the process of systematic advancement of issues of Eurasian transport connectivity to the agenda of international organisations, and the contribution of the Russian Federation to this process.

Keywords: *Greater Eurasian Partnership; transport strategy; international transport corridors; Euro-Asian transport connectivity.*

For citation: Parkhomenko, R. N., Bykova, I. V. Greater Eurasian Partnership – a «Great» Chance for the Russian Transport Industry? World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 234–237. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-10>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

Against the backdrop of strengthening integration processes in the world, Russia, advocating for the synergy of national and international development projects while maintaining a balance of interests of all participants, has put forward a strategic initiative to form a Greater Eurasian Partnership, which provides for establishment of multilateral cooperation between the member countries of the Eurasian Economic Union (EAEU), the Shanghai Cooperation Organisation, and the Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) [1]. As noted, «the Russian initiative involves formation of a set of national and regional integration strategies and projects that develop in a coordinated manner in the interests of peace, security, and prosperity of the people of Eurasia»¹. We are also talking about connecting with the Chinese «One Belt, One Road» initiative, which unites the projects of the Silk Road Economic Belt and the Maritime Silk Road of 21st century.

As noted earlier, «the potential of «Greater Eurasia» is not limited only to economic integration. This concept can also act as a strategy to overcome the global crisis and form a sustainable multipolar world order based on the dialogue of civilisations. In this context, we can say that the concept of the «Greater Eurasian Partnership» acts as an «integration of integrations» [1]. In the speech of the President of the Russian Federation V. V. Putin at the International Forum «One Belt, One Road» on May 14, 2017, it was emphasised that «...greater Eurasia is not an abstract geopolitical scheme, but, without any exaggeration, a truly civilisational project aimed at the future»².

In terms of its sectoral structure, the Greater Eurasian Partnership (GEP) could include the following components:

- Network of international trade and investment agreements.
- Common transport space.
- Single network of economic corridors and development zones.
- Digital dimension.
- Energy space.
- Financial dimension³.

The project is being implemented on multiple tracks.

Among them, for example, there is an educational one. An example of successful activity in this area was the holding of the Educational Forum of the Greater Eurasian Partnership on September 25, 2023. The forum was organised as part of the International Partnership Week of the National Research University Higher School of Economics, timed to coincide with the Russian Federation's chairmanship of the EAEU bodies and aimed at linking the strategies and initiatives of its participants in the field of education, science and technology. The forum was attended by representatives of 23 countries and more than 40 scientific and educational organizations⁴.

A modern high-tech transport network is an integral element that contributes to the deepening of modern Eurasian integration. In this regard, the transport sector is invariably a priority of the Greater Eurasian Partnership. As is rightly noted, «the transport system is the framework of any economy for increasing foreign trade flows. Russia, occupying 1/7 of the world's land and located along the entire Eurasian continent, can offer a wide range of competitive air, road, rail and sea routes for all modes of transport. System work is underway to develop transport infrastructure in the East–West and North–South directions... The Northern Sea Route has good prospects for commercial exploitation»³. In general, due to its geographical location

¹ Greater Eurasian Partnership: View from East and West. Project. Presidential Grants Competition [In Russian]. [Electronic resource]: <https://xn-80afedbalict6afooklqi5o.xn--p1ai/public/application/item?id=a043d464-2eac-42de-a275-706fb8c3d858>. Last accessed 30.05.2023.

² Speech by V. V. Putin at the International Forum «One Belt, One Road». Administration of the President of the Russian Federation: official website, 2017. [Electronic resource]: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/54491>. Last accessed 04.04.2021.

³ On the Russian initiative of the Greater Eurasian Partnership. [Electronic resource]: https://www.mid.ru/ru/activity/coordinating_and_advisory_body/head_of_subjects_council/materialy-o-vypolnenii-rekomendacij-zasedanij-sgs/xxxvi-zasedanie-sgs/1767070/. Last accessed 30.10.2023.

⁴ The HSE hosted the Greater Eurasian Partnership Educational Forum. [Electronic resource]: <https://www.hse.ru/gepf2023/#news>. Last accessed 30.10.2023.



and scale, Russia has significant transit potential in ensuring Euro-Asian transport links.

In this regard, the concept of «transport connectivity» acquires special significance. This term has become firmly established on the agenda of international organisations and bilateral meetings, including at the highest state level⁵.

The inclusion of Eurasian economic integration among the priorities of the transport complex of the Russian Federation reflects the fact that «the concept of the Greater Eurasian Partnership is based on the fact that trade and economic ties are a key instrument for uniting the countries of Eurasia and linking integration projects throughout the vast Eurasian space» [2].

The Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035, approved by the Government of the Russian Federation in November 2021, notes the need to implement the transit potential of our country through the accelerated development of transport infrastructure, as well as the use of the geographical features of the Russian Federation as a competitive advantage⁶. Also, one of the objectives of the Transport Strategy of the Russian Federation is «effective servicing of foreign trade of the Russian Federation, development of export of transport services and development of international cooperation»⁶.

An important area is implementation of a coordinated (agreed) transport policy within the framework of the Eurasian Economic Union, which can be considered as a key centre for formation of the integration contour of the Greater Eurasian Partnership.

⁵ See, for example: Transport connectivity for efficient and sustainable value chains. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific Committee on Transport. Sixth session. Bangkok, 12–13 November 2020. Item 3a of the provisional agenda. Cross-cutting issues in transport. [Electronic resource]: https://www.unescap.org/sites/default/files/RU_2_TRANSPORT%20CONNECTIVITY%20FOR%20EFFICIENT%20AND%20RESILIENT%20SUPPLY%20CHAINS.pdf. Last accessed 30.10.2023..

⁶ Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 № 3363-r «On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035». [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/ministry/targets/187/191/documents>. Last accessed 23.10.2022.

System work is carried out to promote initiatives to develop Eurasian transport links, introduce digital technology in the transport and logistics process within the framework of such international organisations as ESCAP, SCO, ASEAN. In particular, at the initiative of the Russian Federation, the international transport route «Europe – Western China» was included in the List of Asian Highway Routes approved by the ESCAP Intergovernmental Agreement on the Asian Highway Network⁷. With the active participation of Russian experts, the ESCAP technical assistance project «Improving the Efficiency of Intermodal Transport in Asia through the Development of Coordination Measures to Support a Balanced Account of Economic, Social and Environmental Factors» was implemented⁸. The project included a comparative analysis of four intermodal transport corridors and existing transport coordination mechanisms. Based on the results of the study, it was decided to focus the project work on the North–South ITC⁸.

Many researchers note the great potential for expanding international transport corridors as a basis for developing the Greater Eurasian Partnership (e.g.: [3]). It is reasonably noted that «following the creation of the ITC, the accompanying infrastructure, industrial production in neighbouring areas, and customs regulation begin to develop – such corridors are a powerful impetus for the development of a number of industries. In addition, effective and mutually beneficial joint infrastructure projects are a significant guarantee for maintaining friendly relations among the participants implementing these projects... It is the launch and uninterrupted operation of international transport corridors that can become a driver for expanding cooperation in the format of the Greater Eurasian Partnership and deepening cooperation between all interested participants in priority sectors of the economy».

⁷ Intergovernmental Agreement on the Asian Highways Network. UNESCAP. [Electronic resource]: <https://www.unescap.org/resources/intergovernmental-agreement-asian-highway-network>. Last accessed 23.10.2022.

⁸ Dry Ports and Intermodal Transport. Text: electronic // United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. [Electronic resource]: <https://www.unescap.org/our-work/transport/dry-ports-and-intermodal-transport>. Last accessed 23.10.2022.

An essential factor contributing to implementation of the transport component of the Greater Eurasian Partnership is the possibility of creating a single transport space, integrated implementation of the tasks of all participants. For example, the authors [4], highlighting the priority areas of integration of individual EAEU member states in the transport sector, note that «when forming a common market for transport services of the EAEU, it is necessary to achieve such a level of cooperation that a balance will be found between the national interests of each member state of the Union and the goals that are set at the supranational level in terms of implementing a coordinated (agreed) transport policy of the EAEU». The attention of researchers is drawn to promising areas of interaction, individual projects and formats of cooperation in the transport and logistics sector between the EAEU and the countries hosting transport and logistics corridors (eg: [5]).

The transport component of the Greater Eurasian Partnership remains an important subject of scientific research both as a specific topic and in the context of broader discussions (e.g. [6–7]).

In general, the concept of the Greater Eurasian Partnership is intended to become an alternative to both the processes of globalisation and the processes of nationalisation in the modern world. Therefore, the concept of the Greater Eurasian Partnership is intended to replace both the globalisation that has compromised itself and the nationalisation that is limiting itself.

The rapid and irreversible changes taking place in the modern world, with all the difficulties and challenges, provide a unique opportunity for a global restructuring of the transport industry, while one of the main vectors of development of modern Russia is the development and implementation of the concept of «Greater Eurasia».

REFERENCES

1. Parkhomenko, R. N., Mukhlynkina, Yu. V., Bykova, I. V. The concept of «Greater Eurasia» as the basis of the modern Transport Strategy of Russia [Kontseptsiya «Bolshaya Evraziya» kak osnova sovremennoi Transportnoi strategii Rossii]. *Modernization processes in society and in railway transport: historical experience and modern practice / Proceedings of II All-Russian scientific and practical conference with international participation. Omsk, 2021.* Omsk, Omsk State Transport University, 2021, pp. 162–173. [Electronic resource]: https://www.omgups.ru/science/conf/2022/docs/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D0%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D1%8B%20%D0%B2%20%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5_2021.pdf. [Full text of the collection]. Last accessed 30.05.2023.
2. Bykova, I. V. Reflection of the concept of the «Greater Eurasian Partnership» in the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035 [Otrazhenie kontseptsii «Bolshogo Evraziiskogo partnerstva» v Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda]. *Position. Philosophical Problems of Science and Technology*, 2022, Iss. 18, pp. 173–177. EDN: WTBXZQ.
3. Martynova, E. International transport corridors as a factor in formation of the Greater Eurasian Partnership [Mezhdunarodnie transportnie koridory kak faktor formirovaniya Bolshogo Evraziiskogo partnerstva]. *Russia and the new states of Eurasia*, 2023, Iss. III (LX), pp. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.20542/2073-4786-2023-3-68-77>.
4. Tararyshkina, L. I., Yastreb, T. A. Formation of a common market of transport services as a factor in the effectiveness of Eurasian integration [Formirovanie obshchego rynka transportnykh uslug kak faktor effektivnosti evraziiskoi integratsii]. *Bulletin of the Belarusian State Economic University*, 2021, Iss. 3, pp. 25–37. [Electronic resource]: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/90300/1/Tararyshkina_25_37.pdf. Last accessed 30.10.2023.
5. Mamedov, I. B. Caspian Vector of the EAEU Transport and Logistics Policy. *Outlines of global transformations: politics, economics, law*, 2021, Vol. 14, Iss. 5, pp. 177–192. DOI: <https://doi.org/10.23932/2542-0240-2021-14-5-9>.
6. The Greater Eurasian Partnership: Past, Present, Future: Selected Works of the 10th Eurasian Scientific Forum: Collective Monograph. Volume One [Bolshoe evraziiskoe partnerstvo: proshloe, nastoyashchee, budushchee: izbrannie trudy X Evraziiskogo nauchnogo foruma: kolektivnaya monografiya. Tom perviy]. St. Petersburg: University under the IPA EurAsEC, 2018, 424 p. (Series «Euro-Asian Studies»), ISBN 978-5-919-50-071-1.
7. Greater Eurasia: Development, Security, Cooperation [Bolshaya Evraziya: Razvitiye, bezopasnost, sotrudnichestvo]. Yearbook. Issue 1. Part 1. RAS. INION. Scientific Cooperation Department; Ed. By V. I. Gerasimov. Moscow, 2018, 612 p. ISBN 978-5-248-00878-0. ●

Information about the authors:

Parkhomenko, Roman N., D.Sc. (Philosophy), Associate Professor, Professor at the Department of Philosophy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, parkhomenkor@mail.ru

Bykova, Irina V., Ph. D. Student at the Department of Philosophy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, irabyk80@mail.ru.

Article received 30.05.2023, revised 30.10.2023, approved 11.12.2023, accepted 22.01.2024.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-11>World of Transport and Transportation, 2024,
Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 238–242

Organisational and Technological Aspects of Transport of Especially Valuable Goods in Rail Containers



Victor N. FILIPPOV



Alexander V. PISHCHIK

*Victor N. Filippov*¹,
*Alexander V. Pishchik*²

^{1,2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ² alexander.p96@mail.ru.

ABSTRACT

Growth of railway container transportation volumes in the Russian Federation obliges to pay attention to ensuring the safety of cargo transportation. In this regard, it is advisable to outline organisational and technological aspects of transport of especially valuable cargo in rail containers.

The analysis of current regulatory and technical documents, domestic and foreign experience, allowed identifying the most effective areas of ensuring safety of transported goods, which are based on making changes to the design of the automatic coupling device of the rolling stock.

The paper substantiates the need to use indicators of careful handling, impact, tilt of cargo, vibrations, and temperature as well as the need to revise the insurance system for transportation of goods by rail.

This article describes a review and analytical study of the issue of ensuring safety of transportation of especially valuable cargo by rail, through the use of basic (making changes to the design of the rolling stock) and related (use of indicators (sensors) and improving the cargo insurance system) technical and organisational measures.

Keywords: railway transport; freight wagons; platform wagons for transportation of large-capacity containers; dynamics of wagons; transport of especially valuable cargo; dampers; floating centre sill; container; rail cargo insurance.

For citation: Filippov, V. N., Pishchik, A. V. Organisational and Technological Aspects of Transport of Especially Valuable Goods in Rail Containers. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 238–242. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-11>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Cargo transportation by rail in the Russian Federation and the Commonwealth of Independent States occupies a leading position. Railway transport is best suited for mass transportation; it operates at any time of the year and regardless of atmospheric conditions [1].

Since the early 2000s, active development of railway container transportation has begun in the Russian Federation. This is due to creation in October 2003 of the Centre for Transportation of Cargo in Containers «TransContainer» – a branch of JSC Russian Railways (now – Public Joint-Stock Company TransContainer) [2].

A container is a reusable standardised tare for transportation of a wide range of goods by all modes of transport (railway, road, air, sea).

A wide range of cargo is transported in containers, including valuable and expensive ones (household appliances, satellite equipment, microscopes, microcircuits, sculptures, archaeological finds, porcelain, glass, ceramics, etc.).

It should be noted that some regulatory and technical documents (hereinafter referred to as RTD) do not consider special requirements and conditions for transportation of fragile cargo (for example, Standards for calculation and design of wagons for the railways of the Ministry of Railways with a gauge of 1520 mm (non-self-propelled))¹. RTD pays more attention to forces and loads, while almost no issues are raised about safety of transportation of valuable cargo in containers.

In this regard, a review study of the issue of ensuring the safety of the transportation of especially valuable goods by rail is relevant, particularly in terms of the application of the main (making changes to the design of rolling stock) and related (use of indicators (sensors) and improvement of the cargo insurance system) technical and organisational measures.

RESULTS

Technical Arrangements

In many cases, shock-absorbing devices play an important role in ensuring the reliable delivery and safety of especially valuable goods.

Shock-absorbing devices of railway rolling stock in the Russian Federation [3] are generally

like the same foreign devices. At the same time, it should be emphasised that domestic rolling stock uses variants of the SA-3 (Soviet automatic coupling, 3rd variant) with absorbing devices of various modifications in terms of the method of absorbing energy [4].

Addressing the history of the issue, the geometric parameters of the shock-absorbing devices of rolling stock have remained structurally unchanged since the 1930s. At the same time, the length, weight, and speed of cargo trains increased rapidly. Since 1950, the railways of the Union of Soviet Socialist Republics have begun to widely introduce hump yards, but the regulated speed of collision of wagons [5] during their disassembly is not always observed. To ensure safety of cargo, it was necessary to change the design of the automatic coupling device, increasing the stroke of the shock-absorbing device from 70 (90) to 110 (120) mm. However, simply increasing the stroke does not allow obtaining the set collision speed at a given level of longitudinal loads. The choice of possible changes in the geometric parameters can only be made based on thorough theoretical research. Priority measures include development of theoretical models of various models of automatic coupling devices and/or methods of shock absorption of cargo.

In this regard, it is advisable to briefly analyse the design, history and experience of using the shock absorbers operated and being now operated, e.g., on US railways. American shock absorbers tend to increase the shock absorber stroke. US railway experience shows that increasing the shock absorber stroke requires increasing the length of the automatic coupling tail (Pic. 1).

The increase in the length of the coupler tail is implemented by increasing the stroke of the absorbing device, which in turn requires making design changes to the cantilever part of the centre sill. One of the approaches to ensuring safety of the transported cargo is to change the design of the centre sill in the area of the thrust angle and replace the centring beams, as well as use a deflecting device of the coupler [6]. We emphasise that this approach cannot fully ensure safety of valuable cargo.

On the US railways, various design options for the implementation of floating centre sills have been developed (Pic. 2). The tasks of ensuring safety of the transported cargo are solved simultaneously with the tasks of

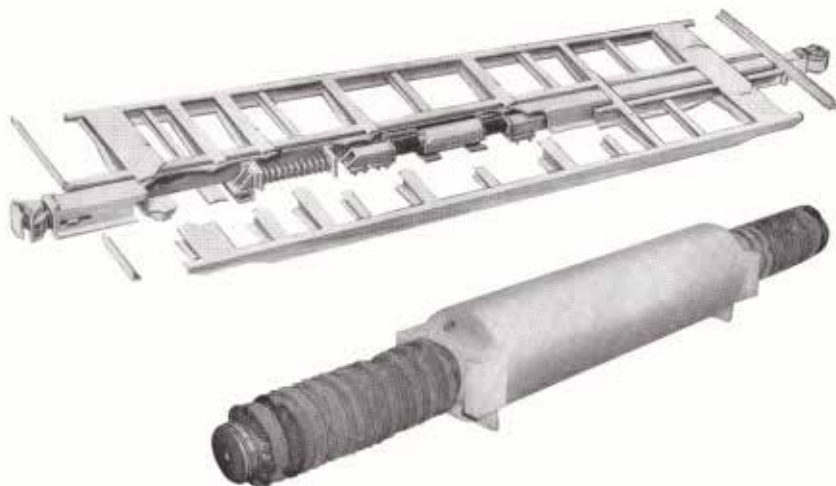
¹ Standards for calculation and design of railway wagons of the Ministry of Railways with a gauge of 1520 mm (non-self-propelled). Moscow, GosNIIV–VNIIZhT, 1996, 317 p. [Electronic resource]: <https://dwg.ru/dnl/2822>. Last accessed 01.10.2023.





Catalog No. C-C580-HT

Pic. 1. AAR Alternate Standard Controlled Slack Coupler with Drawbar [USA Car and Locomotive Cyclopedic 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].



Pic. 2. Spinal beam with hydraulic damper in the central part (USA) [Idem].

eliminating the spontaneous uncoupling of wagons from trains.

For transportation of special cargo, cars with floating centre sills of Pullman-Standard Car Manufacturing Company were built and tested (Pic. 3). However, this unit was used primarily on heavy-duty wagons, which was due to the need to use them with a long console. These solutions were implemented only within the framework of testing special-purpose wagons, for example, the model 11-9960 wagon built by JSC «TVZ» [7].

At present, JSC Russian Railways solves the problems of ensuring safety of train traffic and safety of transported goods using high-energy absorbing devices (elastomeric absorbing devices of classes T2 and T3). The elastomeric absorbing devices used, currently in serial production, have characteristics due to the need to absorb energy. With participation of one of the authors, elastomeric absorbing devices were developed [9; 10], which are currently widely used in wagons for transportation of dangerous goods.

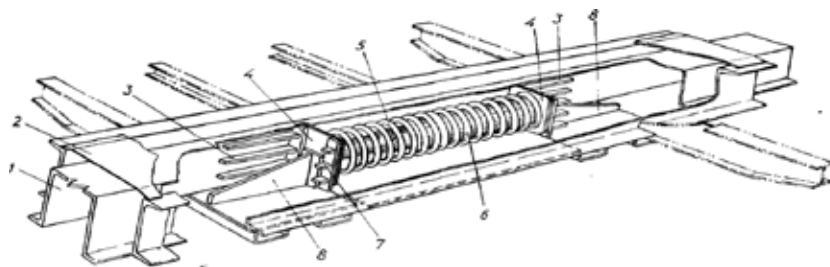
Considering the design of passenger cars, it should be noted that rubber-metal absorbing

devices (R-2P and R-5P) are widely used on this rolling stock [11]. It is known that the use of rubber elastic elements leads to a change in rigidity at low temperatures. Note that the calculation models do not consider the possibility of changing the liquid characteristics at a temperature of -60°C .

Foreign experience in ensuring safety of transported goods shows its effectiveness. It is based on monitoring the acceleration level, including recording impacts, tilts and falls. ShockWatch® 2 indicators (USA) are widely used for monitoring careful handling, impact, load tilt, vibrations, temperature. These indicators are disposable (Pic. 4) and reusable. In disposable indicators, the control element (glass tube) is irreversibly painted red if an impact exceeding the permissible value occurs. Reusable indicators ensure recording of values and are reused within the standard service life².

Since there is currently a consistently high flow of cargo transported in container trains from

² Shock and tilt indicators ShockWatch® 2 (USA). Shockwatch GC «Control Technologies». [Electronic resource]: <https://rosploomba.ru/g6920376-indikatory-udarnaklona>. Last accessed 01.10.2023.



Pic. 3. Floating centre sill of a cargo wagon manufactured by Pullman-Standard Car Manufacturing Company (USA) [8].



Pic. 4. Disposable shock indicators ShockWatch 2³.

the People's Republic of China to the countries of the European Union through the territory of the Russian Federation, some of the above indicators will probably be used to monitor dynamic load conditions. The use of these indicators (their analogues) will increase the responsibility of each participant in the transportation process and minimise the incidence of damage to particularly valuable cargo.

Ensuring safety of transportation of particularly fragile and valuable cargo can only be achieved by comprehensive measures, in particular, by making changes to the design of the automatic coupling device of the rolling stock, as well as by installing special technical devices inside the container.

Based on the studies of shock-absorbing devices conducted by Russian University of Transport [12–15], it is possible to create probabilistic models of the occurrence of damage to transported cargo under current operating conditions.

Currently, work is underway to increase the stroke of shock-absorbing devices using standard absorbing devices.

In our opinion, an accompanying mechanism for increasing the safety of the transportation of especially valuable cargo by rail is a perfect system of cargo insurance on railway transport adapted to the conditions of transportation.

There are various approaches to cargo insurance on railway transport, including the use of state systems and programs, widely used in the world. Analysis of information on cargo insurance on the world's railways shows that each country uses systems and programs that are maximally adapted to local transportation conditions [16]³.

The existing transportation insurance system in the Russian Federation does not fully consider the requirements for ensuring safety. In our opinion, it is advisable to consider a possibility of creating a state cargo insurance system to ensure a single approach to cargo insurance. We believe that it is necessary to ensure the introduction of requirements at the level of state bodies, considering the specific conditions for ensuring the safety of certain types of cargo (for example, especially valuable), with the definition of the legal aspects of the work of supervisory authorities and insurance organisations.

BRIEF CONCLUSIONS

Even a brief review and analytical study have shown that achieving unconditional provision of

³ Insurance Requirements for Federally Regulated Freight Railway Companies – Implementation guide [Electronic resource]: <https://otc-cta.gc.ca/eng/publication/insurance-requirements-federally-regulated-freight-railway-companies-implementation>. Last accessed 01.10.2023.

safety for the transportation of especially valuable cargo by rail can only be achieved under the condition of an integrated approach (a set of technical and organisational measures).

The quoted examples of both technical and organisation nature can be considerable complemented and systemised, and the first step towards it was to state the problem.

REFERENCES

1. Reutov, E. V. Formation of commercial market infrastructure in the sphere of cargo railway rail transportation. Ph.D. (Economics) thesis [*Formirovanie kommercheskoi infrastruktury rynka v sfere gruzovykh zheleznodorozhnykh perevozok. Diss... kand. ekon. nauk*]. Moscow, State University of Management, 2017, 174 p. [Electronic resource]: https://guu.ru/files/dissertations/2017/08/reutov_e_v/dissertation.pdf. Last accessed 25.02.2024.
2. Mamontov, I. Yu. Improving the organization of cargo transportation in containers using a support network of container accumulation and distribution centres. Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie organizatsii perevozok gruzov v konteinerakh s primeneniem opornoj seti konteinernykh nakopitelno-raspredelitelnykh tsentrov. Diss... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, MGUPS (MIIT) publ., 2013, 300 p.
3. Kolomyichenko, V. V., Bespalov, N. G., Semin, N. A. Automatic coupling device of rolling stock [*Avtostsepnoe ustroystvo podvizhnogo sostava*]. Moscow, Transport publ., 1980, 185 p.
4. Bykov, B. V. Design, maintenance and current repair of cargo wagons [*Konstruktsiya, tekhnicheskoe obsluzhivanie i tekushchiy remont gruzovykh vagonov*]. Moscow, Zheldorizdat, Transinfo publ., 2005, 416 p. ISBN 5-94069-002-5.
5. Gapeev, V. I., Pishchik, F. P., Egorenko, V. I. Traffic safety in railway transport: Monograph [*Bezopasnost dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: Monografiya*]. Minsk, Polymya publ., 1996, 360 p. ISBN: 985-07-0149-8.
6. Filippov, V. N., Vasilenko, A. V., Malovichko, V. V. [et al.] Patent of the Russian Federation No. 2335422. Wagon with a deflecting device for an automatic coupling – IPC B61G 7/12, 2004 [Patent RF № 2335422. *Vagon s otklonayushchim ustroystvom avtostsepi – MPK B61G 7/12, 2004*]. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2335422C2_20081010. Last accessed 25.02.2024.
7. 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. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-6>.
8. Asadulin, E. A., Paizildaev, A. I., Meparishvili, G. R. Parameters of a floating ridge beam and the 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.vestnik-nauki.pdf/archiv/journal-6-27-4.pdf#page=197> [full text of the issue]. Last accessed 21.01.2024.
9. Kubicki Antoni (PL), Strzyz Eugeniusz (PL), Chmielewski Andrzej (PL), Kędzier Józef (PL), Popławski Wojciech (PL), Milczarski Kazimierz (PL), Mikhailov V. M. (RU), Filipov V. N. (RU), Dimitrov V. V. (RU), Skuratov A. E. (RU), Kurenko V. N. (RU), Ulyanov O. A. (RU) (abbreviated Kubicki Antoni, Filipov V. N., Dimitrov V. V., Skuratov A. E., Kurenko V. N. et al.) Patent of the Russian Federation (11) No. 2210514. Method and device for diverting impact energy, in particular in automatic couplings of rail rolling stock – IPC B61G9/04, B61G11/16 20/08, 2003. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2210514C2_20030820. Last accessed 01.02.2024.
10. Kubicki Antoni (PL), Strzyz Eugeniusz (PL), Chmielewski Andrzej (PL), Kędzier Józef (PL), Popławski Wojciech (PL), Milczarski Kazimierz (PL), Mikhailov V. M. (RU), Filipov V. N. (RU), Dimitrov V. V. (RU), Skuratov A. E. (RU), Tsurienko V. N. (RU), Ulyanov O. A. (RU) (abbreviated Kubicki Antoni, Filipov V. N., Dimitrov V. V., Skuratov A. E., Tsurienko V. N. et al.) Patent of the Russian Federation (11) No. 2112677. Energy absorbing device, in particular for automatic railway couplings – IPC B61G9/100, B61C11/00, 2004. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2112677C1_19980610. Last accessed 01.02.2024.
11. Kobishchanov, V. V., Antipin, D. Ya., Shorokhov, S. G. Evaluation of dynamic loading of domestic passenger cars during emergency collisions of trains with obstacles [*Otsenka dinamicheskoi nagruzhennosti otechestvennykh passazhirskikh vagonov pri avariynnykh soudareniyakh poezdov s prep'yatstviyami*]. *Technological support for repair and improvement of dynamic qualities of railway rolling stock: materials of the Third All-Russian scientific and technical conference with international participation. In 3 parts. Part 2*. Omsk, OmGUPS publ., 2015, pp. 50–56. EDN: UZRSXB.
12. Petrov, G. I. Evaluation of safety of car movement in case of deviations from the standards of maintenance of running gear and track. D.Sc. (Eng) thesis [*Otsenka bezopasnosti dvizheniya vagonov pri otkloneniyyakh ot norm soderzhaniya khodovykh chastei i puti. Diss... dokt. tekhn. nauk*]. Moscow, MGUPS (MIIT), 2000, 348 p.
13. Filippov, V. N. Features of calculation, analysis and ways of improving dynamic indicators of promising heavy-duty wagons. D.Sc. (Eng) thesis [*Osobennosti rascheta, analiza i puti uluchsheniya dinamicheskikh pokazatelei perspektivnykh bolshegruznykh vagonov. Diss... dokt. tekhn. nauk*]. Moscow, 1986, 384 p.
14. Bepalko, S. V. Development and analysis of models of damaging effects on tank boilers for transportation of cryogenic products. D.Sc. (Eng) thesis [*Razrabotka i analiz modelei povrezhdayushchikh vozdeystvii na kotly tsistern dlya perevozki kriogennykh produktov. Diss... dokt. tekhn. nauk*]. Moscow, MGUPS, 2000, 426 p.
15. Sergeev, I. K. Modelling of longitudinal forces arising from the interaction of empty and lightly loaded cars in cargo trains. Ph.D. (Eng) thesis [*Modelirovanie prodolnykh sil, voznikayushchikh pri vzaimodeystvii porozhnykh i malozagruzhennykh vagonov v gruzovykh poezdakh. Diss... dokt. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2023, 190 p.
16. Pospelova, L. N. Improving the efficiency of transport and forwarding services based on the functioning of logistics centres. Ph.D. (Eng) thesis [*Povyshenie effektivnosti transportno-ekspeditsonnykh uslug na osnove funktsionirovaniya logisticheskikh tsentrov. Diss... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2018, 182 p. ●

Information about the authors:

Filippov, Victor N., D.Sc. (Eng), Professor, Moscow, Russia, filipovvn@gmail.com.

Pishchik, Alexander V., External Ph. D. Student at the Department of Cars and Cars Economy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, alexander.p96@mail.ru.

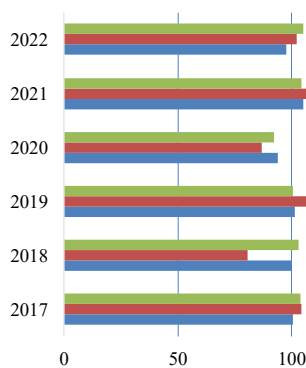
Article received 18.10.2023, approved 28.03.2024, accepted 02.04.2024.



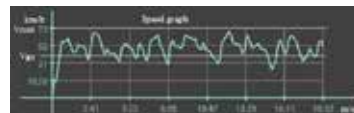
TRANSPORT SYSTEMS OF REGIONS

244

Impact of transport and logistics system on regional economic sustainability, resource saving, key regional economic indices.



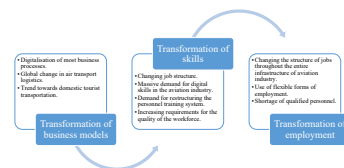
SUSTAINABILITY, SAFETY, ENVIRONMENT



ROAD TRAFFIC SAFETY

259

Peculiarities of behaviour of younger drivers: the factor of influence of presence of passengers on the driving speed.



SUSTAINABLE DEVELOPMENT

265

Sustainable development of aviation industry: transformations of labour environment and new strategies of employment management.



Assessment of the Impact of the Transport and Logistics System on Resource Efficiency, Key Regional Economic Indicators and Economic Sustainability



Valery A. KHAITBAEV



Evgeny V. CHERNIAEV

Valery A. Khaitbaev¹, Evgeny V. Cherniaev²

¹ Samara State Transport University, Samara, Russia.

² Volsk Military Institute of Material Support, Volsk, Russia.

¹ ORCID 0000-0001-8244-8842; Scopus Author ID: 57207192153; Russian Science Citation Index SPIN-code: 6990-4788; Russian Science Citation Index Author ID: 50419860.

² ORCID 0009-0003-9646-5995; Russian Science Citation Index SPIN-code: 3339-3490; Russian Science Citation Index Author ID: 1197150.

✉ ¹ vhaitbaev21@mail.ru.

✉ ² ki-la@mail.ru.

ABSTRACT

The objective of the study is to determine the degree of dependence between the regional transport and logistics system and the main regional economic indicators and their impact on resource-saving and the level of economic sustainability.

The research methods are based on the use of a comparative analysis of approaches used to determine the characteristics of transport and logistics systems, retrospective, correlation and regression, morphological, abstract logical, theoretical and empirical, and structural analysis.

The study has resulted in the analysis of approaches to defining and assessing transport and logistics system from the position of the spatial location of transport and logistics infrastructure facilities in the context of their impact on spatial organisation of productive forces;

a retrospective, comparative and correlation and regression analysis of indicators characterising the regional transport and logistics system, economic indicators of GRP and retail turnover; evaluation of the analytical dependence of the region's economic indicators on the state of the regional transport and logistics system; rationale of the dependence of the level of economic sustainability and resource-saving on the development of the transport and logistics infrastructure.

The results of the study may be used to determine the level of influence of the transport and logistics system on regional economic indicators of various industries, which are indicators of their economic sustainability within the framework of the adopted regional strategy for planning the spatial distribution of transport and logistics infrastructure facilities.

Keywords: transport and logistics system, infrastructure, region, economic indicators, economic sustainability, resource-saving, dependence.

Acknowledgements. the study was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Agency for Railway Transport for conducting the research, development and technological work for civil purposes. Project «Design of a resource-saving transport and logistics system in the economy of the constituent entities of the Russian Federation». Internet number / Registration number: 124040300020–8.

For citation: Khaitbaev, V. A., Cherniaev, E. V. Assessment of the Impact of the Transport and Logistics System on Resource Efficiency, Key Regional Economic Indicators and Economic Sustainability. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 244–258. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-12>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

The task for Russia to enter an innovative path of socio-economic development cannot be considered beyond the context of regional economic policy. Long-term forecasts and strategies for socio-economic development of the Russian Federation, i.e., the Federal Law of 28.06.2014 N 172-FZ (as amended on 17.02.2023) «On Strategic Planning in the Russian Federation»¹, which was developed for the next six years, can obviously be implemented exclusively by means of breakthrough scientific and technological development of regional economies of the constituent entities of the Russian Federation. As part of drawing-up development strategies for the Russian Federation, coordination of activities includes matching the strategies for socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation and preparing a consolidated conclusion on them. In this context, are no less important the national projects «Balanced Regional Development» (implementation deadlines for the regions included in the project are until 2030) and «Safe and High-Quality Highways» (implementation deadlines for the regions included in the project are until 2026–2030).

The development of regional transport and logistics systems (TLS) is one of key factors in increasing the efficiency of regional economies. In view of the peculiarities of territorial distribution of productive forces, in which the economic distance between business entities significantly increases the cost of final goods and services, creation of a developed transport and logistics infrastructure is quite rationale, it can be considered one of the priorities of regional development.

Therefore, the spatial distribution of enterprises requires rationale choice of their location with the account of the capabilities of TLS. In this regard, the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025, approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated February 13, 2019 No. 207-r², shapes a system of criteria for placement of

productive forces that ensure territorial development and economic growth and is a strategic planning document within the framework of goal-setting following a territorial principle. Since the period of implementation of the strategy is ending, it is highly probable to suppose that the similar strategy will be adopted that will be in the mainstream of the previous one, including the need to achieve previously set goals.

Those documents highlight resource-saving among most important principles of state development. Resource-saving for the economy of the Russian Federation and its constituent entities, along with other tasks, determines the basis for territorial development. In this regard, the impact of the cost of transport and logistics services sets the task of improving the transport and logistics infrastructure, and often of developing a new one.

The goal of the Russian Federation joining the leading economies of the world requires, among other things, development of optimal resource-saving mechanisms, and since the share of logistics costs in Russia is about 25–30 % of the gross domestic product [1], which is one of the highest values of this indicator among developed countries, the need is obvious to develop and modernise the logistics sector.

Moreover, introduction of resource-saving mechanisms affects the increase in economic sustainability of both the entire state and individual regions. Due to the high cost of transport and logistics services, their impact on the spatial connectivity of territories is undisputable, and the dependence between the resource-saving mechanism of the transport and logistics system and the level of economic sustainability is obvious.

LITERATURE AND RESEARCH REVIEW

The problem of developing a TLS resource-saving model in the context of the economy of not only an enterprise, but also of a region and a country is a cornerstone and requires scientific analysis, assessment and methodological techniques for its rationale and effective solution. Modern scientific literature comprises sufficiently many works that reveal this problem and offer a set of scientific tools and mechanisms for solving it. It is possible to outline several works that have undoubted advantages in terms of the level of analysis and detailing of resource-saving tasks, their evolution, and contain scientific and practical recommendations for solving them. It may refer, e.g., to the monograph by L. L. Kamenik «Resource-saving policy and the

¹ Federal Law dated 28.06.2014, N 172-FZ (as amended on 17.02.2023), «On Strategic Planning in the Russian Federation». [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/ons_doc_LAW_164841. Last accessed 19.04.2024.

² Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025, approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated February 13, 2019, No. 207-r. [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/. Last accessed 19.04.2024.



resource of its implementation in the format of evolutionary development» [2]. The author proposes three models of resource-saving. The first two, which the author calls technocratic, provide for a decrease in the resource intensity of technologies and obtaining a resource-saving effect at the enterprise level. The third model provides for obtaining a resource-saving effect within the space of a region and a country, that is, it scales the system of production relations in the space between enterprises in the production and logistics chain. The author substantiates the cause-and-effect relationship between resource provision and resource-saving. However, the main attention in the work is paid to resource-saving models regarding the natural resource potential of Russia.

At the same time, the author pays less attention to the organisational mechanisms of resource-saving, which is a key factor in management and functioning of a resource-saving transport and logistics model. The works [3–5] are more focused on the problems of resource-saving in production, construction, waste management, energy conservation, etc. However, organisational and managerial technologies of resource-saving, the tasks of saving resources during delivery of goods using TLS are not considered in detail.

In the context of resource-saving within TLS, several areas can be identified. Firstly, this is improvement of the organisational and managerial mechanism; secondly, the rational choice of the location of enterprises considering minimisation of costs for transportation, consolidation and distribution of cargo flows; thirdly, development of a network of transport and logistics centres (TLC); fourthly, development of the road network of transport modes and, finally, widespread introduction of information technologies.

TLS consisting of TLCs and a network of transportation routes deserve a more detailed analysis. Since placement of production sites requires considering the basic conditions and prerequisites that imply an acceptable level of enterprise efficiency, spatial management through TLS modelling is designed to ensure the integration of enterprises into the chains of «supply – production – sales – distribution – consumption» and a reduction in increasing logistics costs.

The topic of developing and implementing transport and logistics models is quite trivial and

is presented in detail in the scientific literature. Thus, the works [1; 6–9], substantiate the need to develop transport and logistics clusters (TLCL) following various models, including structural and logical ones. The indicated works present methods for assessing the economic potential of territories to determine the feasibility of developing TLCL, and also clarify the definitions and concepts regarding TLCL.

The analysis of publications devoted to TLCL shows the scientific and practical value of this method of organising economic activity for implementation of socio-economic development objectives. On the webpage of the electronic resource of the project «Map of Clusters of Russia», developed by specialists of the Russian Cluster Observatory of the ISSEK HSE [Institute for Statistics Studies and Knowledge Economics of Higher School of Economics]³, it is reported that 120 clusters have been created in the Russian Federation in 28 industries, and the influence of the distribution of clusters by Federal Districts on the GDP (GRP) values is shown. The work [10] analyses the structure of TLCL, highlighting the main components: transport, terminal and warehouse complexes, transit potential and logistics operators. To determine the impact of TLCL on the economy, including the regional economy, two works [10; 11] were also studied, summarised and analysed, in which the concepts and definitions of TLCL and their structural elements are clarified.

At the same time, the analysis shows that the problems of creating TLCL in the Russian Federation arise, among other things, due to the lack of a generally accepted understanding of components of a cluster, its participants and functional relationships by the scientific community, business and government bodies [1].

The analysis of scientific publications that reveal the content of the industry approach shows its insufficient effectiveness, while the task of achieving the goals of an industry requires going beyond its boundaries and attracting the technological, technical and resource potential of other industries. Thus, the work [11] points to a predominantly industry approach to managing economic activity, which limits the development of enterprises with the boundaries of the industry. The work provides

³ Map of Clusters of Russia. HSE. [Electronic resource]: <https://map.cluster.hse.ru/>.

a comparative analysis of the industry and cluster approaches, where the advantage of the cluster approach is highlighted.

However, the works that determine the influence of the cluster and industry approaches on economic indicators, sustainability of regional economies and resource conservation have not received due development.

Nevertheless, this relationship is obvious, and the impact on the level of economic sustainability is determined through a system of resulting groups of indicators. It is recommended to include the following indicators in these groups: indicators of production sustainability of regional enterprises; indicators of resource and technical sustainability; indicators of investment sustainability; indicators of financial sustainability; indicators of organisational and managerial sustainability.

The definition of «economic sustainability of an economic entity» is analysed in a few scientific publications, for example, in [12; 13], and does not have an established definition. The difficulty in shaping this definition is that it consists of two words – «sustainability» and «development», which are, according to some authors, mutually exclusive: «sustainable development simply cannot exist, since with development (dynamics) there will be no stability (constancy)» [14].

In international scientific literature, the term «Sustainable development» became widely known after the report «Our Common Future» in 1987, completed under the leadership of Gro Harlem Brundtland⁴, and was translated into Russian. The term «sustainable development» originally introduced by G. H. Brundtland concerned the global development of the entire world community and meant harmonious, balanced development of economic, social and environmental spheres of human existence. Later, this term became so popular that it began to be applied not only to the macro level, but also to the micro level, being scaled

to the phrase «economic sustainability of the enterprise», which expanded the scope of its application and led to even greater complexity of its use [10].

The analysis of scientific publications on economic sustainability of business entities, conducted according using the database of the Scientific Electronic Library eLibrary.Ru showed that there are about 470 of them (as of March 2024), and most of the works on this problem relate to industrial enterprises and other areas of economic activity. For example, in this context the works [16–22] do not analyse the activity of transport enterprises, TLC and transport and logistics systems.

Besides, while highly appreciating contribution of domestic scientists to the study of spatial distribution of productive forces, we note that this scientific research does not sufficiently consider the experience of other economically developed countries, for example, development of a network of freight villages in the European Union.

At the same time, it is worth noting the Russian experience of creating freight villages and TLC, such as «Freight Village Vorsino», TLC Bely Rast and others. Attention may be drawn to the practices of building «dry» ports by JSC Russian Railways, which, among other things, are regional hubs for certain vectors of external exports routes.

Thus, the priorities of regional economic development dictate the directions of substantive modernisation of transport and logistics infrastructure, which focus on the need not just to adapt to the needs of cargo owners and carriers, but to forecast their changes associated with global and country's economic conditions, obviously influencing the requirements for transport and logistics services.

Regional spatial features form the prerequisites for functioning and development of the transport and logistics system as a spatial one, integrated into the regional production and technological system, since only in this form can it act as a «growth pole».

The list of the authors who developed classical theories of spatial distribution of productive forces includes I. G. von Thunen, A. Weber, A. Lösch, E. Hoover and others [23–25]. The works of N. N. Kolosovsky, N. N. Baransky, M. K. Bandman, J. Ottaviano, P. Martin, J. R. Thisse and others are devoted to

⁴ Gro Harlem Brundtland. Statement at the 42nd session of the General Assembly of the United Nations. October 19, 1987. Presentation of the unanimous report of the World Commission on Environment and Development – «Our Common Future». P. 4. [Electronic resource]: https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/20579/WCED_v42_doc1-36.pdf. Last accessed 19.04.2024.



The integral criterion in the works of the listed authors refers to the level of development of TLS as a necessary condition for development of territories.

MATERIALS AND METHODS

In this list, the most well-known and discussed are the cluster approach to the definition and functional purpose of TLS, industry and spatial approaches, which have their own specifics.

⁵ Baransky, N. N. Short Course in Economic Geography. Part 2. Economic Geography of the USSR. General Overview of the Entire USSR. Overview by Economic Regions. Moscow, Leningrad, 1928, 455 p. [Electronic resource]: <https://elbib.rgo.ru/safe-view/123456789229245/1/MzM2MjRfQmFYyW5za2pLCBOLIBOLIBLCmF0a2lpIGt1cmMgZl9wY2tm9t4WNoZXN8rk2gZVzV3ucGRM>. Last accessed 19.04.2024.

From the point of view of the industry approach, TLS is a specific economic activity concentrated in the industry of providing services for transportation and distribution of goods, where the grouping of enterprises occurs according to industry characteristics. In an industry, in contrast to a cluster, the boundaries of which may extend beyond the industry, there is a unification of enterprises according to a technological or product characteristic. A cluster, on the other hand, provides for going beyond the industry and for unification of enterprises from different industries, which is typical, among other things, for a transport and logistics cluster.

Thus, the analysis of the listed approaches to assessing TLS in the economy of regions showed both their similarities and differences (see Table 1). The analysis of the contents of Table 1 shows obvious advantages of the cluster approach, but the spatial approach has no administrative restrictions. Therefore, it is possible to go beyond not only the industry, but also the cluster and involve a larger number of clusters and industries in the common economic space, provided that the price for the transport and logistics service is competitive and satisfies both suppliers and customers.

In this regard, special attention should be paid, for example, to the experience of the EU governing bodies and its member countries in forming the TLS and their impact on the economy of the entire EU, including regions and countries. European countries have gone through more than forty years of creating TLS and have

Table 1

Comparative analysis of approaches to assessing TLS [developed by the authors]

Indicator	Cluster approach	Industry approach	Spatial approach
Production, technological and organisational boundaries	A group of enterprises from various industries that complement each other	A set of enterprises united by logistic features within the boundaries of one industry	There are no clear boundaries, signs of territorial allocation: location; economic distance; elements of cluster and industry approaches
Regulation of economic activity	Based on private-public partnership	Executive authorities, government	Focus on indicative parameters for decision-making on placement of facilities (Strategy for spatial development of the Russian Federation)
Competitiveness indicator	High	The indicator decreases with direct regulation of economic activity	Highest competitiveness indicator, no direct regulation
Degree of interaction with the external environment	Combination of competition and cooperation	No interaction is provided, processes are limited to intra-industry technology	Maximum level of interaction
Barriers/growth points	High bureaucracy, lobbying, corruption risks / high potential for resource concentration	Divergence of interests with other industries and clusters / rapid response to changes in the external environment	The need to complete the development of part of the infrastructure of the transport and logistics system / scale of activity, low level of legislative restrictions
Economic growth	Strengthening based on synergies and scale economy	Limited by industry boundaries	Depends on the efficiency of location of TLS facilities

ensured that these systems reduce logistics costs and cover maximum delivery territories. The created European system has a strengthening role in the EU economy.

According to Europlatforms EEIG⁶, whose members are the largest associations and individual TLC and freight villages of Europe, in 2015 there were 240 TLC in 28 EU countries with a total area of 25 891 hectares (the average area of one TLC was 108 hectares)⁷.

The experience of the European Union shows a gradual transformation in the creation of a TLC network from an industry-based to a cluster-based approach and, finally, to a spatial approach, which is confirmed by the coverage of almost the entire EU and access to transport and logistics services for the maximum number of customers.

Thus, the analysis of approaches to determining the role and place of TLS in the economic space shows that most scientific papers, although they reveal the influence of TLS as a cluster or industry on the economy of regions, do not focus on how these links affect, for example, economic sustainability.

Consequently, further research will be rationale with the objective to determine the

degree of dependence of the main regional economic indicators on the regional transport and logistics system and its impact on the level of economic sustainability and resource-saving practices.

RESULTS

The conducted analysis of the of the immanent regional economic indicators proposed for assessment and determination of the degree of their dependence on the existing regional TLS allows us to assume the presence of a significant correlation between them.

Samara region was chosen for the study. The analysis and assessment were carried out based on the following sectoral indicators of the regional economy: gross regional product with indices of its physical volume; statistical indicators of industries (construction, transport and storage, wholesale and retail trade); investments in fixed capital and their cost by type of activity (construction, transport and storage, wholesale and retail trade); commissioning and degree of depreciation of fixed assets for construction, transport and storage, wholesale and retail trade; financial results of activities; transportation of goods and cargo turnover of motor transport. The study covered the period of 2017–2022.

At the same time, an important reservation is necessary. The task in the context of the study



⁶ [Electronic resource]: <https://www.europlatforms.eu>

⁷ The concept of formation and functioning of transport and logistics centres adopted in the EU. [Electronic resource]: <https://mintrans.org/ru/o-nih/transportno-logisticheskicentry/evrosojuz/>. Last accessed 19.04.2024.

Table 2
Aggregated regional economic indicators of Samara region

Indicators	Years					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gross regional product (in current basic prices), million rubles	1449 005,7	1625 558,7	1689 575,4	1625 461,8	2157 662,0	2378 451,0
Index of physical volume of gross regional product (% of the previous year)	100,8	100,2	101,4	94,1	105,3	97,8
Construction (compared to the previous year %)	104,5	80,7	116,2	86,8	121,8	102,1
Transportation and storage (compared to the previous year %)	104,0	103,0	100,8	92,1	104,2	105,2

Source: developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service ⁸.

Table 3
Dynamics of interdependent regional economic indicators

Indicators	Years					
	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Retail trade turnover (in current prices; million roubles)	225 858	423 534	589 988	674 641	757 583	835 385
Indices of physical volume of retail trade turnover (in comparable prices; as a percentage of the previous year)	113,7	103,3	80,9	94,5	103,1	94,5
Cargo transportation, million tons	77,8	60,1	40,6	28,3	32,5	30,7
Cargo turnover, million t-km	3 393	5 596	4 442	3 881	3 393	3 703

Source: developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service ⁸.

was to identify fundamental patterns and develop methodological approaches, but not to analyse the exact reasons for changes in the dynamics of the indicators under consideration in a particular region. In this regard, the study focused on the indicated period for which sufficient information was available at the time of publication. In 2023, there was a significant improvement in regional indicators, but according to preliminary analysis, the positive dynamics confirmed the conclusions made in the study regarding the identified patterns.

Table 2 and Pics. 1 and 2 demonstrate the main aggregated regional economic indicators⁸.

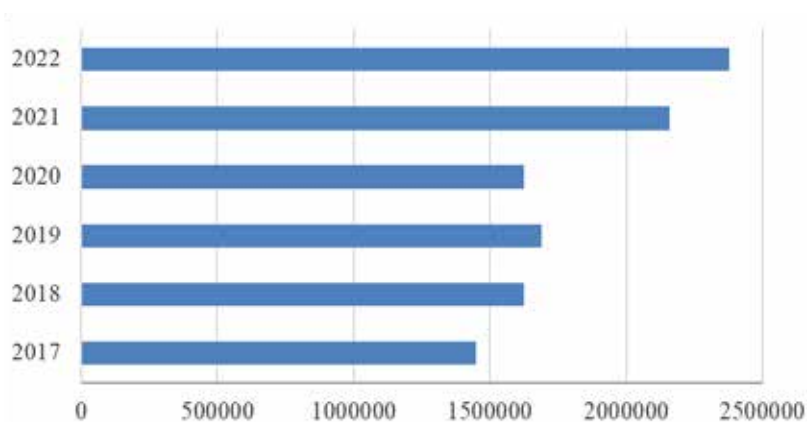
The analysis of the Table 2 and data shown in the diagrams in Pics. 1, 2 shows that the dynamics of the gross regional product (GRP) indicators in absolute and relative values generally had a negative trend during the considered period. The growth of values in rubles reflects inflationary processes, and the index of physical volume of GRP confirms a decrease in the value of this indicator. The exception is 2021,

which is associated with post-COVID growth, and this recovery does not exceed the 2017 level.

The indicators of the types of economic activity «construction», «transportation and storage» in general also have a downward trend, except for 2021, which is similar to the dynamics of GRP. The «construction» indicator in 2021 increased due to the growth rate of housing construction and does not reflect the commissioned transport and logistics infrastructure facilities. The share of commissioned TLS facilities in the total volume of commissioned buildings and structures on average does not exceed 5–7 % and in 2020–2023, no significant facilities were commissioned.

The indicator of the «transportation and storage» type of economic activity (in accordance with OKVED / Russian classifier of types of economic activity) shows the dependence on the GRP indicators, and it is obvious that the less is produced, the less is transported. Also, a negative impact on these indicators was exerted by a decrease in the volume of transit cargo, both interregional and international. The increased indicator in 2022 shows a post-COVID revival of transportation, but this value is less, in absolute values, than the level of 2017.

⁸ Federal State Statistics Service. Regions of Russia. Socio-economic indicators 2023. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Reg_Rus_Pokaz_2023.htm. Last accessed 19.04.2024.



Pic. 1. Dynamics of changes in gross regional product [developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service⁹].

Table 3 and Pics. 3 and 4 show the dynamics of regional economic indicators, which to a greater extent reflect the impact of TLS on the regional economy⁸.

The indicators of retail trade and cargo transportation, like the GRP indicator, also had in 2022 negative dynamics. The main clearly visible reasons are the decrease in the money supply in the retail trade sector, in the number of commercial contracts, which led to a decrease in the volume of trade and transportation, as well as a decrease in the income of the main consumer groups, mainly households.

The second reason, which does not appear immediately, as a rule, but over a long period of time, is the decrease in transport, cargo handling and warehouse capacities.

It is fair to note that a decrease in trade volumes forces participants in logistics chains to reduce their capacities. The analysis of such a reduction shows a higher rate of withdrawal of transport and logistics facilities from their production and logistics activities than the rate of reduction in retail trade volumes.

Since, due to its high inertia, the introduction of logistics facilities into production activities will lag the faster recovery of retail turnover and, accordingly, the deficit of transport and logistics services, a negative effect arises that restrains the growth of retail turnover.

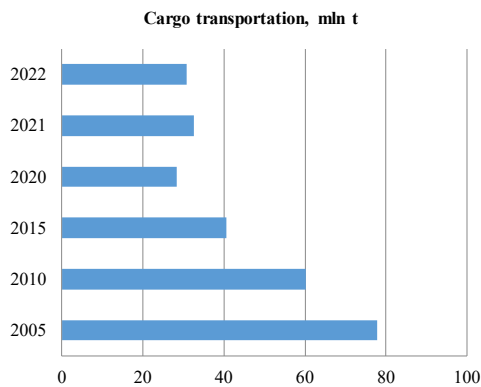
Consequently, the impact of the state of the TLS on retail trade indicators and GRP shows an obvious dependence and, accordingly, can be one of the factors determining the economic stability of the region.

At the same time, the analysis of the «construction», «wholesale and retail trade», «transportation and storage» activities correlates in general with the indicators shown in Tables 2 and 3, and more relevantly indicates the impact of the level of development of the regional TLS on the listed industries (see Table 4)⁸.

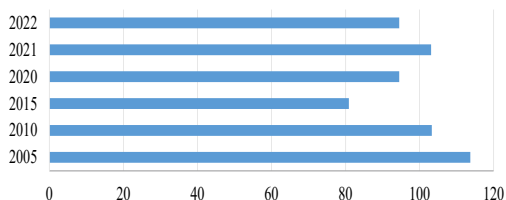
For example, the indicator «industry structure of gross value added» shows that the final function of the supply chain, i.e. «retail and wholesale trade», demonstrates the processes of expansion and contraction of entrepreneurial activity, manifested in the previous industries.



Pic. 2. Aggregated regional economic indicators [developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service⁹].



Pic. 3. Dynamics of cargo transportation indicators [developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service⁹].



Pic. 4. Dynamics of physical volume of retail trade turnover indices [developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service⁹].

The analysis of the «transportation and storage» sector for 2020–2022 shows the worst value in 2020 (coronavirus pandemic) and a slight rise in 2021 and a slight fall in 2022. That is, the possibility of expanding the functions of consolidation, cargo handling and distribution is

reduced, partly due to the reduction of «wholesale and retail trade». Similarly, there is a reduction in the volume of «construction».

On the other hand, a decrease in the number of warehouse real estate objects commissioned and, accordingly, a decrease in the «transportation and storage» indicators reduce trade volumes.

Thus, an effect arises in which the maximum value of transportation and storage in 2018 ensured an increase in the trade indicator in the same year. In 2019, the value of «transportation and storage» decreased, but the trade indicator, due to low inertia, remained almost at the same level and showed a significant decrease only in 2020 (partly due to the coronavirus pandemic).

At the same time, the growth in trade volumes in 2021 was by 2,6 % of gross value added compared to 2020 and ensured a slight increase in «transportation and storage» over the same period by 0,4 %. Such inertia of the process may be due to a significant time lag in the expansion of the volumes of «construction», «transportation and storage» and a smaller lag for an increase in the trade indicator.

There is a discrepancy between the decline in trade volumes and a slower (due to low inertia) decline in the «construction», «transportation and storage» indicators, and vice versa, an intensive increase in the trade indicator leads to a slower recovery of the «construction», «transportation and storage» indicators. In other words, the growth of trade at the beginning of the year



Pic. 5. Planned TLC of Samara Region [developed by the authors based on the Resolution of the Government of Samara Region No. 422 of September 23, 2010].

Table 4

Dynamics of industry indicators relevant to the level of development of TLS

№	Indicator	Industry											
		Construction						Transportation and storage					
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
1	Average annual number of employed by type of economic activity (thousand people)	134,8	129,1	140,2	131,1	144,2	121,7	141,7	1138	283,1	267,9	231,7	278,1
2	Sectoral structure of gross value added (%)	5,3	4,9	5,6	5,1	5,9	5,7	6,1	6,0	10,5	7,8	10,2	9,8
3	Investments in fixed capital by type of economic activity (million rubles)	3657,5	2989,6	3958,1	3451,7	98546	87548	99754	97800	7854	6987	7198	7321
5	Commissioning of fixed assets by type of economic activity (million rubles/share)	6112/ 2,1 %	5675 /1,4 %	6325/ 2,4 %	6037/ 2,0 %	11989/ 3,8 %	8562/ 3,1 %	12389/ 4,0 %	11454/ 3,7 %	41983/ 15,3 %	31085/ 9,9 %	43287/ 16,2 %	37715/ 12,2 %
6	Degree of depreciation of fixed assets by type of economic activity (%)	57,6	47,1	60,3	56,4	74,2	62,9	79,7	73,3	59,1	47,9	61,7	56,3
7	Distribution of the number of organisations by types of economic activity (at the end of the year)	9525	7564	12589	9454	22079	18698	23849	21878	6115	5569	6138	6040
8	Turnover of organisations by type of economic activity (billion rubles)	97,7	79,9	99,9	94,5	641,1	603,5	617,8	620,7	432,2	350,8	420,9	390,3
9	Balanced financial result of the organisation for individual types of economic activity (million rubles)	6865	5987	6954	6804	30158	27856	34565	29362	5798	5107	5898	5505

Source: developed by the authors using data of the Federal State Statistics Service⁸.

Table 5

Correlation coefficients of the values of TLS and economic indicators of Samara region

Economic indicators of the region	Indicators of TLS of Samara region	Construction of TLS facilities, units	Transportation and storage, million tons of cargo	Cargo transportation, million tons.	Cargo turnover, million t-km.	Average annual number of employed, thousand people	Number of TLS organisations by type of economic activity, units.	Cargo rolling stock (trucks), units	Passenger flow of public buses, million passenger-km	Operational length of Motorways, km.	Operational length of railway tracks, km
GRP, million rubles		0,59	0,84	0,86	0,80	– 0,45	0,53	0,39	0,82	0,92	0,47
Retail trade turnover, million rubles.		0,76	0,79	0,91	0,82	0,34	0,76	0,81	–0,29	0,79	0,52

Source: developed by the authors.

ensures the growth of «construction», «transportation and storage» by the beginning of the next year, where the time lag is approximately one year (see Table 4).

Obviously, the specified areas of activity related to transport and logistics services, which are provided by the corresponding infrastructure facilities, are correlated with regional indicators of economic activity. Therefore, undoubtedly, development of regional TLS affects the economy of the region and its sustainability.

Assessing the development of the regional TLS, it should be noted that several legislative initiatives have been developed at the regional level to develop a regional network of TLC.

Among them are the Resolution of the Government of Samara Region dated September 23, 2010, No. 422, «On the Concept of Development of the Regional Transport and Logistics System of Samara Region for 2011–2015» and the Program of the Government of Samara Region in accordance with Resolution No. 441 dated July 12, 2017 «On the Strategy for Socio-Economic Development of Samara Region for the Period up to 2030 (as amended on September 17, 2019)».

In accordance with the Resolution of the Government of Samara Region No. 422 dated September 23, 2010, it was planned to create six TLC in the region by the end of 2015 (see Pic. 5).

The developed model of the regional TLC system was supposed to enhance the transit potential of the region and stimulate the economic growth of the regional industry by

providing integrated transport and logistics services. However, given the favourable geographical location, the availability of transportation routes of all modes of transport, developed industry and science, the concept was not fully implemented. At the end of 2023, Samara region did not have a single TLC system and this sector of the economy is represented, in addition to a large number of small and medium-sized warehouses, by several large enterprises, for example, Srednevolzhskaya Logistics Company (80 thousand square meters of warehouse space), SOYUZ Company (24 thousand square meters), Volgatransterminal (10 thousand square meters), Pridorozhny Logistics Complex (48 thousand square meters).

The region's TLC system is mainly represented by corporate warehouses of large companies that service their cargo flows. The most famous include FSUE Russian Post, JSC Samaraagroprompererabotka, LLC Ozon, JSC «Novokuibyshevskaya neftekhimicheskaya kompaniya», X5 Retail Group NV and others.

The analysis of TLC of the listed companies in the region confirms that the facilities they create are intended for consolidation and distribution of their own cargo, so it is not correct to consider them in the context of a single regional TLC system.

However, in accordance with the decision of the Government of the Samara Region (Resolution No. 441 of July 12, 2017 «On the Strategy for Socioeconomic Development of Samara Region

until 2030 (as amended on September 17, 2019)», it is envisaged to create a transport and logistics system of Samara Region based on TLCL, which, according to the plan of the regional authorities, will ensure the spatial development of productive forces and increase the economic sustainability of Samara Region. This decision of the Government of the region, in terms of development of the transport and logistics system, is essentially intended to implement not completely implemented Resolution of the Government of Samara Region No. 422 of September 23, 2010 in the form of creating a logistics cluster.

The idea of TLCL is to ensure the interaction of all enterprises and organisations of the region, create equal access to transport and logistics services, and increase the economic efficiency of interregional and international cooperation. Obviously, the possibility of implementing this program will ensure the spatial development of the region in accordance with the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025.

Thus, formation and development of a regional TLCL, which is similar in content and purpose to the term TLS, involves creation of conditions for increasing the economic efficiency of the regional industry. The mutual influence between the level of development of the regional TLS and industries is obvious, but it is necessary to determine to what extent this relationship affects their target indicators and the level of economic sustainability.

For econometric rationale of the mutual influence of TLS and the regional economy, the method of correlation and regression analysis was used, which allows us to determine the closeness of the relationship between TLS indicators and the economic indicators of the region. The statistical basis for the analysis was the data of the Federal State Statistics Service for 2017–2022⁸. Table 5 shows the results of the correlation and regression analysis.

The results of the correlation and regression analysis confirm the assumption about the influence of TLS indicators on GRP indicators and retail turnover. Each TLS indicator (x_i) has a relationship with at least one regional economic indicator (y_j). For the computational experiment and in accordance with the methodology of correlation-regression analysis, we will assume that the value of the coefficient above 0,7 shows a strong relationship.

The significance of the calculated relationships is determined by multiple regression. Gross regional product (y_1) and retail turnover (y_2) were selected as variables. The variables, GRP and retail turnover, were selected in accordance with their significance for TLS. The following variables were selected for the calculations: construction of TLS facilities (x_1); transportation and storage (x_2); cargo transportation (x_3); cargo turnover (x_4); average annual number of employees (x_5); the number of TLS organisations by type of economic activity (x_6); cargo rolling stock (trucks) (x_7); passenger turnover of public buses (x_8); operational length of motorways (x_9); operational length of railways (x_{10}). To calculate the regression dependence of TLS and retail turnover, the following variables were selected: (x_1); (x_2); (x_3); (x_7). The computational experiment showed the following regression dependencies:

$$y_1 = 19246,03 + 56,947x_1 + 410,124x_2 + 620,521x_3 + 308,231x_4 - 15,329x_5 + 27,329x_6 + 547,872x_7 + 28,453x_8 + 479,295x_9 + 19,787x_{10}; \quad (1)$$

$$y_2 = 9273,729 + 3,143x_1 + 349,274x_2 + 474,839x_3 + 624,472x_7. \quad (2)$$

The calculations showed that the coefficients of determination greater than 0,75 are significant and equal to $R^2_1 = 0,987$ and $R^2_2 = 0,991$, respectively. This confirms the strong influence of the variables selected for the calculation on the GRP and retail turnover in Samara Region.

For the first model, the most significant indicators are: transportation and storage (x_2); cargo transportation (x_3); cargo rolling stock (trucks) (x_7); operational length of motorways (x_9). For the second model – cargo rolling stock (trucks) (x_7); cargo transportation (x_3).

Consequently, transportation and storage, cargo transportation, cargo rolling stock (trucks), operational length of roads have the strongest influence on the regional GRP, and cargo transportation and operational length of motorways – on the retail turnover.

CONCLUSIONS

The conducted correlation and regression analysis shows the influence of TLS indicators of Samara region on the regional GRP and retail turnover, therefore the initial assumption about the presence of the identified relationship is confirmed.

Obviously, the identified relationship between TLS and the economic indicators of the region can be interpreted as a factor determining the level of economic sustainability of the region.



The complex of analysed regional economic indicators, including the state of TLS, determines the level of economic sustainability through a system of resulting groups of indicators [9–12]. For example, these are indicators of production sustainability, indicators of investment sustainability and others.

At the same time, regional economic sustainability cannot be considered as a set of static, constant and unchanging groups of indicators, while the external economic environment is in a state of constant change. The sustainability of the regional economy is continuous socio-economic, as well as production-technical, logistical changes that bring the regional economy to a state of new equilibrium, which involves achieving the required, better economic indicators.

Consequently, the ability of the regional economy to adapt to new conditions of economic activity, to return to a state of equilibrium, which is characterised by better values of target economic indicators, should be understood as economic sustainability. The same is proved by the preliminary assessment of the correctness of the conclusions made regarding the positive dynamics of the indicators for the considered region in 2023, not included in the study since data for in-depth analysis missed when preparing the paper for publication.

The analysis of the dynamics of TLS indicators shows the impact on the regional economic indicators identified in the work, and the regression analysis confirms the high level of correlation and, obviously, characterises economic sustainability. In the context of the study, the state of TLS may be considered as an external factor influencing the indicators of GRP and retail turnover. This is also confirmed by other research, dedicated to complex assessment of the efficiency of regional transport and logistics systems [39].

Besides, the study confirmed the assumption about the influence of external factors on regional economic sustainability.

GRP can be used as an indicator of the dynamics of changes in regional economic sustainability. The analysis of regional economic indicators (Tables 2–4) shows this influence. Thus, the index of physical volume of the gross regional product (Table 2) shows a slight increase in this indicator from 100,8 % in 2017 to 101,4 % in 2019. In 2020, there was a decrease to 94,1 %, a recovery in 2021 to 105,3 % relative to the fall

in 2020 and a decrease in 2022 to 97,8 %. That is, under the influence of endogenous factors, if we consider the entire regional economy, the GRP indicator decreases, then recovers to the previous or higher values. The endogenous factors studied in the work include transport and storage, wholesale and retail trade turnover, construction, cargo transportation and cargo turnover, which affect the volumes of goods and services produced and form the GRP. The dynamics of the listed factors correlate with the dynamics of GRP, which confirms their impact on economic sustainability. The most stable state in terms of GRP, if we consider 2017–2022, is observed in 2019 and 2021, which repeats the dynamics of aggregated endogenous factors and, accordingly, confirms not only the results of the performed correlation and regression analysis, but also the impact of these factors on regional economic sustainability.

Obviously, the decrease in GRP and retail turnover and, accordingly, economic sustainability indirectly occurs due to a decrease in transport and storage indicators, transportation volumes, investments in fixed assets, and commissioning of fixed assets. Therefore, a return to positive growth in the analysed trend, which corresponds to an increase in economic sustainability, depends on the elimination of barriers that impede the improvement of the listed indicators.

The study provides a comparative analysis of approaches to determining TLS from industry to spatial one. It should be noted that with a variety of forms of economic activity, all three approaches remain in demand. However, regardless of the great popularity and economic demand for the cluster approach, it has not been widely implemented at the regional level. The approach requires a more structured and resourced formulation of the task of developing transport and logistics systems that would correspond to the minimum necessary economic infrastructure and, first of all, to transport and logistics infrastructure, as well as more effective interaction and coordination between enterprises and authorities, enshrined in legislative documents. Therefore, the sectoral approach remains dominant.

On the other hand, the spatial approach partially solves the problem of spatial connectivity of economic entities in the absence of economic administration based on the interest of economic entities in the results of their activities.

Based on the analysis of statistical regional economic indicators for 2017–2022, the key components of regional TLS were identified. Correlation and regression analysis showed a high level of influence and relationship between regional TLS and key regional economic indicators. The obtained dependencies confirm the influence of individual TLS factors on GRP and retail turnover. The most significant factors influencing GRP are transportation and storage, cargo transportation; cargo rolling stock; factors influencing retail turnover are cargo rolling stock (trucks); cargo transportation. In addition, the study substantiates the assumption about the influence of TLS factors on regional economic sustainability, where sustainability is understood as the ability to restore previous regional economic indicators in accordance with the planned target values.

Thus, the conducted study allows us to conclude that TLS is not only one of the key systems of the regional economy, but also one of the factors ensuring economic sustainability. Consequently, planning of target economic indicators and the level of economic sustainability should be planned together with the target indicators of the elements of regional TLS. In this regard, e. g., the Program of the Government of Samara region «On the Strategy for Socio-Economic Development of Samara region for the Period up to 2030» probably requires revision in terms of including the section «Formation and Development of Regional TLS» and defining interrelated target indicators of TLS with key regional economic indicators.

Generally, the level of development of regional economies, their interaction and interdependence, economic sustainability and resource-saving practices, a priori, ensures sustainable growth of macroeconomic indicators, and, therefore, the comprehensive socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation, and is one of the key tasks of government bodies at all levels of governance.

REFERENCES

1. Kvitko, K. B. Structural and logical model of transport cluster. *Modern Transportation Systems and Technologies*, 2021, Vol. 7, Iss. 4, pp. 76–89. DOI: 10.17816/transysyst20217476-89.

2. Kamenik, L. L. Resource-saving policy and the resource of its implementation in the format of evolutionary development [Resursosberegayushchaya politika i resurs ee realizatsii v formate evolyutsionnogo razvitiya]. 2nd ed. enl. St.Petersburg, 2012, 477 p. ISBN 978-5-8088-0686-3.

3. Murray, R. Zero Waste – alternative concept of waste management [In Russian]. *Ecologiya i zhizn*, 2004, Iss. 6 (41), pp. 16–18.

4. Energy and resource conservation. Energy supply. Alternative and renewable energy sources. Nuclear power. Danilov Readings – 2020: collection of scientific papers / Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Yekaterinburg, Publishing House of Ural University, 2021, 632 p. ISBN 978-5-7996-3379-0.

5. Savenko, A. A., Stolyarova, Yu. V., Shadrina, O. M. Resource saving in modern construction [Resursosberezhenie v sovremennom stroitelstve]. *Scientific works of KubSTU*, 2017, Iss. 11, pp. 112–121. EDN: XMRKVF.

6. Magomedov, A. M. Transport subsystem in logistics systems region. *Management of economic systems*, 2013, Iss. 11 (59), 15. EDN: QFQNXA.

7. Menshenina, I. G., Kapustina, L. M. Cluster formation in the regional economy: Monograph [Klasteroobrazovanie v regionalnoi ekonomike: Monografiya]. Yekaterinburg, Ural State Economic University, 2008, 154 p. ISBN 978-5-9656-013-4. EDN: SHIDWV.

8. Prokofieva, T. A., Khairov, B. G. Logistics clusters in the Russian economy: Monograph [Logisticheskie klasteri v ekonomike Rossii: Monografiya]. Gen. editorship of D.Sc. (Economics), Professor T. A. Prokofieva. Moscow, OJSC «ITKOR», 2016, 416 p. ISBN 978-5-00082-038-4.

9. Rastvortseva, S. N., Snitko, L. T., Cherepovskaya, N. A. Methodology for assessing the economic potential for cluster development in the region [Metodika otsenki ekonomicheskogo potentsiala dlya razvitiya klasterov v regione]. *National interests: priorities and security*, 2013, Iss. 30 (219), pp. 20–32. EDN: QYVSZF.

10. Sultanov, A. G. Integration of transport and logistics clusters into the system of national and international transport corridors. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Integratsiya transportno-logisticheskikh klasterov v sistemu natsionalnykh i mezhdunarodnykh transportnykh koridorov. Abstract of diss... kand. ekon. nauk]. Moscow, Institute for the Study of Commodity Movement and Market Conditions, 2017, 154 p.

11. Patrakeeva, O. Yu. Prospects for social and economic development of Krasnodar krai in the context of national transport infrastructural projects. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii*, 2021, Vol. 9, Iss. 2, pp. 95–104. DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2021.2.10>.

12. Yurchenko, A. Yu. Historical foundations of emergence and development of economic theories of economic sustainability of enterprises [Istoricheskie osnovy vozniknoveniya i razvitiya ekonomicheskikh teorii ekonomicheskoi ustoichivosti predpriyati]. *Current scientific research in the modern world*, 2017, Iss. 8–1 (28), pp. 119–123. EDN: ZUKNBF.

13. Baranova, V. E., Nikolaeva, E. F. Economic sustainability of the enterprise [Ekonomicheskaya ustoichivost predpriyatiya]. *Academy*, 2018, Iss. 10 (37), pp. 18–24. EDN: YLQIVV.

14. Demyanova, O. V., Ishkova, E. I. Specifics of building a strategy for sustainable development of enterprises under current crisis. *Finance and credit*, 2017, Vol. 23, Iss. 6, pp. 310–319. DOI: <https://doi.org/10.24891/fc.23.6.310>.

15. Baburina, O. N., Sadykov, E. A. Developing and testing a methodology to assess the economic sustainability of a seaport operator. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, Vol. 20, Iss. 5 (512), pp. 924–958. DOI: 10.24891/ea.20.5.924.

16. Savitskaya, Zh. S. Economic sustainability of industrial enterprises: essence and main indicators [Ekonomicheskaya ustoichivost promyshlennykh predpriyati: sushchnost i osnovnye pokazateli]. *Bulletin of St. Petersburg State University of Economics*, 2017, Iss. 1–2, pp. 155–159.



[Electronic resource]: <https://sciup.org/jekonomicheskaja-ustojchivost-promyshlennyh-predpriyatijsushhnost-i-osnovnye-14875799>. Last accessed 15.04.2024.

17. Topoleva, T. N. Study of principles and factors of sustainable development of industrial enterprise [*Issledovanie printsipov i faktorov ustojchivogo razvitiya promyshlennogo predpriyatiya*]. *Bulletin of NGIEI*, 2018, Iss. 6 (85), pp. 85–96. EDN: XSZDCP.

18. Safonova, T. Yu. Ensuring economic sustainability of companies in the oil and gas sector in conditions of high volatility of energy prices [*Obespechenie ekonomicheskoi ustojchivosti kompanii neftegazovogo sektora v usloviyakh vysokoi volatilnosti isen na energoresursy*]. *Russian entrepreneurship*, 2012, Vol. 13, Iss. 7, pp. 98–102. [Electronic resource]: <https://1economic.ru/lib/7420?ysclid=m2ykvnr7a499710318>. Last accessed 15.04.2024.

19. Komissarova, M. A., Rygalovskiy, D. M. The opportunities of risk management for achieving the sustainable development of an enterprise. *Russian Journal of Entrepreneurship*, 2016, Vol. 17, Iss. 22, pp. 3197–3206. DOI: 10.18334/rp.17.22.37027.

20. Nevmyvako, V. P. Ensuring economic sustainability of enterprises by optimizing the quality management system of services [*Obespechenie ekonomicheskoi ustojchivosti predpriyatii putem optimizatsii sistemy upravleniya kachestvom uslug*]. *Economy and society: modern development models*, 2018, Vol. 8, Iss. 2 (20), pp. 22–32. EDN: YPTPUD.

21. Afonasyova, M. A. On the issue of sustainability of economic systems in conditions of uncertainty of the external environment [*K voprosu ob ustojchivosti ekonomicheskikh sistem v usloviyakh neopredelennosti vneshnei sredy*]. *Bulletin of Altai Academy of Economics and Law*, 2020, Iss. 2, pp. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.994>.

22. Bardal, A. B. System-Hierarchical Approach to Studying the Transport Complex of the Region: Methodology and practical Approval for the Far East. *Bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management*, 2022, Iss. 2, pp. 5–17. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2022-2/5-17>.

23. Thunen, I. von. The Isolated State [*Izolirovannoe gosudarstvo*]. Moscow, Ekonomicheskaya zhizn publ., 1926, 326 p. [Electronic resource]: <https://archive.org/details/Tunen>. Last accessed 19.04.2024.

24. Weber, A. Theory of industrial location [*Teoriya razmeshcheniya promyshlennosti*]. Leningrad-Moscow, Kniga publ., 1926, 223 p.

25. Lösch, A. Spatial organisation of the economy [*Prostranstvennaya organizatsiya khozyaistva*]. Moscow, Nauka publ., 2007, 663 p. ISBN: 978–5–02–035367–1.

26. Kolosovsky, N. N. Production-territorial combination (complex) in Soviet economic geography [*Proizvodstvenno-territorialnoe sochetanie (kompleks) v sovetskoj ekonomicheskoi geografii*]. *Voprosy geografii*, 1947, Iss. 6, pp. 133–168. EDN: ZBFRBF.

27. Bandman, M. K. Territorial-production complexes: theory and practice of pre-planning studies [*Territorialno-proizvodstvennye komplekсы: teoriya i praktika predplanovykh issledovaniy*]. Novosibirsk, Nauka publ.,

1980, 256 p. [Electronic resource]: http://lib.ieie.su/docs/2000before/Bandman1980Territorialno_proizvodstvennye_komplekсы_teorija_i_praktika.pdf. Last accessed 15.04.2024.

28. Ottaviano, G., Thisse, J.-F. Chapter 58. Agglomeration and economic geography. In: *Handbook of Regional and Urban Economics*, 2004, Vol. 4, pp. 2563–2608. DOI: 10.1016/S1574-0080(04)80015-4. ISBN 9780444509673. S2CID 153604628.

29. Fujita, M., Thisse, J.-F. Does Geographical Agglomeration Foster Economic Growth? And Who Gains and Losses from It? *The Japanese Economic Review*, 2003, Vol. 54, Iss. 2, pp. 121–145. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/article/10.1111/1468-5876.00250>. Last accessed 15.04.2024.

30. Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. The Spatial Economy. Cities, Regions, and International Trade. Cambridge, MA: MIT-Press, 1999, 367 p.

31. Krugman, P. Development, geography and economic theory. Cambridge MA: MIT Press, 1995, 117 p. DOI: 10.2307/1243317.

32. Krugman, P. Urban Concentration: the Role of Increasing Returns and Transport Costs. *International Regional Science Review*, 1996, Vol. 19, Iss. 1–2, pp. 5–30. DOI: 10.1177/016001769601900202.

33. Porter, M. International Competition [*Mezhdunarodnaya konkurentsia*]. Moscow, Mezhdunarodnie otnosheniya, 1993, 378 p. ISBN: 5–7133–0413–2.

34. Asheim, B., Gertler, M. Understanding regional innovation systems. *Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2004, 329 p. ISBN: 978–0–19–926455–1.

35. Isaksen, A., Trippel, M. Regional industrial path development in different regional innovation systems: A conceptual analysis. *Papers in Innovation Studies*, Lund University, CIRCLE. Centre for Innovation Research, 2014, 17 p. [Electronic resource]: https://wp.circle.lu.se/upload/CIRCLE/workingpapers/201417_Isaksen_Trippel.pdf. Last accessed 17.04.2024.

36. Humphrey, J., Schmitz, H. Governance and Upgrading: Linking Industrial Clusters and Global Value Chain Research. IDS Working Paper 120. Institute of Development Studies, 2020, 37 p. ISBN 1858643341.

37. Bolgova, E. V., Bolgov, S. A., Kurnikova, M. V. Rating method in assessing the spatial organization of higher education: the experience of France [*Reitingoviy metod v otsenke prostranstvennoi organizatsii vysshego obrazovaniya: opyt Frantsii*]. *Ars Administrandi*, 2018, Vol. 10, Iss. 4, pp. 687–721. DOI: <https://doi.org/10.17072/10.17072/2218-9173-2018-4-687-721>.

38. Sergeev, V. I. General trends in development of logistics centres abroad [*Obshchie tendentsii razvitiya logisticheskikh tsentrov za rubezhom*]. *Logistics and supply chain management*, 2012, Iss. 5 (52), pp. 7–18. EDN: PWPSRR.

39. Rudneva, L. N., Kudryavtsev, A. M. Methods of complex assessment of the performance of regional transport infrastructure. *Russian Journal of Entrepreneurship*, 2014, Iss. 8 (254), pp. 109–121. EDN: SCBVNT.

Information about the authors:

Khaitbaev, Valery A., D.Sc. (Economics), Professor at the Department of Transport Economics and Logistics of Samara State Transport University, Samara, Russia, vkhaitbaev21@mail.ru.

Cherniaev, Evgeny V., Ph.D. (Economics), D.Sc. candidate at Volsk Military Institute of Material Support, Volsk, Russia; ki-la@mail.ru.

Article received 29.04.2024, approved 20.05.2024, accepted 30.05.2024.



A Study of Influence of Presence of a Passenger on Driving Speed



Alexander V. POPOV



Galina A. CHERNOVA



Marina V. VELIKANOVA

Alexander V. Popov¹, Galina A. Chernova², Marina V. Velikanova³

^{1, 2, 3}Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.

✉ ¹ alexandrus238@yandex.ru.

ABSTRACT

The large number of victims of road traffic accidents around the world creates a serious problem for the economy, demography, and health care. The value of global social risk calculated according via relevant method, is within 18, in Russia it is of 9.7. Statistical data shows that government activities in the Russian Federation to improve road traffic safety are effective. Over the past ten years, the core values of road traffic accident rate have been decreasing, despite the increasing level of motorisation. Federal regulations stipulate a further decrease of target social risk index by 2030 to the value of 4.

Excessive speed and in conformity of the speed with specific traffic conditions are the most common cause of road traffic accidents (19 % of the total). The ideas of many urbanists (that often are not backed up by specialised research in the field of road traffic safety) to forcibly make abandon cars and reduce speed in cities cannot be implemented to full extent, although they have local positive results.

The likelihood of occurrence of a road traffic accident is significantly influenced by the individual characteristics of drivers, such as age, gender, and general risk propensity. One of the factors causing road traffic accidents, especially by young drivers, is the presence of peers. They can be the cause of dangerous driving, inattention, and the driver's desire to «show off.» Older

drivers, on the contrary, become more attentive and careful in the presence of passengers. However, in the scientific literature contains also opposite results (passengers can have a positive effect on young drivers, but a negative effect on older ones).

In this regard and in the context of developing recommendations on reduction of road traffic accident rate, it is relevant to study feasibility to set some restrictions for younger drivers. The objective of the work is to evaluate the influence of a passenger of the same age on driving speed for a young driver and to compare it with the influence of a passenger on an older driver. The research method was an experiment in which young drivers aged 18 to 25 years and more experienced drivers over 35 years old drove along a set route with and without a passenger, while the speed of a car was recorded. An increase in speed was revealed when most young drivers were driving with a peer passenger. Considering that most young people overestimate their ability to drive a car, violation of the speed limit under the influence of a passenger can affect the occurrence of a road traffic accident. Based on the results of the work, it is proposed to introduce a system of phased access to driving, introduce a ban on transportation of passengers until the drivers reach a certain age or gain relevant experience, and improve drivers' training programs.

Keywords: road traffic accident, driver, speed, driver behaviour, young driver, road traffic safety.

For citation: Popov, A. V., Chernova, G. A., Velikanova, M. V. A Study of Influence of Presence of a Passenger on Driving Speed. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 259–264. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-13>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Every year, many people are killed or seriously injured in road traffic accidents, and, therefore, road traffic accidents pose a serious problem for the economy, demographics, and public health. The WHO European Region, the best performing region for road traffic safety, has a road traffic fatality rate of 8,8 per 100 000 people, compared with the global rate of 18,2 per 100 000 people¹. In Russia, at the end of 2022, the social risk index was 9,68². It is worth noting that in general, the dynamics of three main indicators of road traffic accident rate (the number of road traffic accidents, the number of fatalities and persons injured) has been steadily declining in Russia for more than ten years. At the same time, the level of motorisation is growing (over ten years from 2012 to 2022 it had increased by almost a third). This ratio of indicators is described by Reuben J. Smeed's model, which reflects the fundamental principle of the relationship between the level of motorisation and road traffic mortality (at a certain level of motorisation, there is an increase in transport risk, which subsequently decreases, while the level of motorisation continues to grow) [1; 2]. The federal project «Road Traffic Safety» set the target index to be attained by 2030 as 4.

Several driver's features, such as age and gender, influence the likelihood of crashes, and the risk is higher among younger drivers, especially male drivers [3]. In addition, the general propensity to take risks among young drivers is significantly higher [4; 5]. The presence of passengers is another factor that has different effects on the likelihood of road traffic accidents. There can be both a positive (i.e. protective) effect of driving with passengers (the risk of an accident is higher when driving alone) and a negative effect of driving with passengers. Whether the effect will be positive or negative depends on various situational factors: the age and gender of the driver, as well as the number, age and gender of passengers [6]. Reckless driving and inattention caused by young

passengers are two main forms of behaviour that precede road traffic accidents caused by young drivers [7]. One of the main manifestations of risky behaviour in this situation is speeding [8]. Older drivers, especially those with children as passengers, tend to drive more carefully and at lower speeds than driving alone [9]. At the same time, some studies have found no difference between driving with a passenger and driving alone [10]. The ambiguous results make suppose that there may be specific conditions under which manifestation of risky driving behaviour among young drivers is more often [11].

The relationship between driver age and driving features has been widely studied for a long time. Drivers under 24–25 years of age and inexperienced drivers (especially those with less than three years of driving experience) are most susceptible to accidents [12]. Young drivers are more impulsive, impatient, energetic, and inclined to risk. Such drivers are not able to objectively assess the situation, their instinct of self-preservation is practically absent, and their self-confidence is extremely high. One of the main causes of road traffic accidents is excessive speed [13; 14].

In general, passengers of the same age can influence young driver behaviour by directly encouraging violations as well as by modelling behaviour. They can also influence behaviour through their general attitude, suggesting how acceptable a particular behaviour is. Influence can be direct, for example through verbal and explicit non-verbal expressions of encouragement (or disapproval). Influence can also be applied indirectly through social norms, which can be transmitted through modelling [15]. In Russia, the issue of the influence of a passenger on traffic has been poorly studied and is represented mainly by technical studies on the influence of loading on the dynamics of a car [16; 17].

Exceeding the speed limit is one of the most common types of traffic violations and in 2022 was a cause of almost a fifth (19 %) of all road traffic accidents. Road traffic accidents associated with violation of the speed limit include those that occurred due to speed inconsistency with specific traffic conditions (92 %) and exceeding the established speed (8 %). Young drivers aged 20–24 years account for 11 % of such accidents².

In recent years, the ideas of urbanists have been gaining popularity, calling for various methods of discriminating against drivers and

¹ World Health Organization. Regional Office for Europe. (2020). European regional status report on road safety 2019. World Health Organization. Regional Office for Europe. [Electronic resource]: <https://iris.who.int/handle/10665/333758>. Last accessed 05.10.2023.

² Road traffic accident rate in the Russian Federation in 2022. Information and analytical review. Moscow, FKU «NC Road Traffic Safety Centre of the Ministry of Internal Affairs of Russia», 2023, 150 p., P. 5.

Driver's features	Age	Gender	Marital status	Occupation / educational institution
	21	Male	Not married	Cargo transportation / VTI
Car's features	Year of manufacture	Model	Power	
	2005	VAZ-2112	89	
Route	Streets		Time	Date
	Lenin Avenue, Generala Karbysheva street, Olomoutsкая street		12:00–16:00	25.05.2021
Route features	Driving time	Maximum speed	Average speed	Total distance
	18:53	73	44	13,7



Pic. 1. Example of a protocol of a test run [performed by the authors].

completely abandoning the car, reducing speed in cities. Positive experience of reducing speed to 30–40 km/h exists [18–20], but it cannot be applied everywhere. Promoted, for example, by Professor Vukan R. Vučić of the University of Pennsylvania, the ideas of forced complete renouncement to cars and transition to pedestrian traffic in cities [21, P. 382] are, in our opinion, utopian and impracticable, and forcing drivers to deny to use their cars by introducing a fee for each trip [21, P. 509] means discrimination based on property.

On the contrary, using the example of a long-term decline in road traffic accident rates in the Russian Federation, we can conclude on the effectiveness of the measures taken by government agencies within the framework of the state road traffic safety policy.

However, work remains to be done in some areas, including in terms of introducing restrictions for young and inexperienced drivers [22]. *The objective* of this work is to reveal the influence of a peer passenger on driving speed for a young driver and compare it with the influence of a passenger on an older driver. The research *method* is an experiment involving selected young people aged 18 to 25 years and more experienced drivers over 35 years old who have a driver's license and use a personal car.

The study involved two groups of drivers of different age of ten people each. The average

age for respective groups was 21,5 and 41,5 years. To conduct the study by measuring indicators during driving, the following route in the city of Volzhsky was chosen: Lenin Avenue from Builders Square – Olomoutsкая street – Generala Karbysheva street (intersection with Molodezhnaya street). The length of the route is about 13 km. Graphs of dependence of speed on time were compiled using the Geotracker – GPStracker application (for Android OS).

Each of the ten drivers in the respective group made three drives with and without a passenger. The conditions for conducting the experiment were in conformity with the recommendations for examining the speed of vehicles, established in the Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated December 27, 2022, No. AK-337-r «On approval of methodological recommendations for monitoring road traffic».

Relevant tests were carried out in April-June 2022.

The results and initial data were recorded in protocols (Pic. 1).

RESULTS

Each driver in relevant age group was attributed a conditional number from 1 to 10. Young drivers 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10 exceeded the average speed when driving with passengers. Drivers 1, 4 and 9 had approximately the same



Table 1

Final test data for young drivers

Driver	Test without a passenger, speed in km/h	Average speed per three drives	Test with a passenger, speed in km/h	Average speed per three drives	Age
1	36, 44, 36	38,6	40, 37, 38	38,3	21
2	25, 37, 36	32,6	37, 37, 36	36,6	24
3	46, 46, 42	44,6	47, 52, 44	47,6	21
4	43, 43, 45	43,6	43, 43, 45	43,6	20
5	38, 36, 36	37,3	40, 43, 37	40	22
6	35, 35, 37	35,6	45, 47, 44	45,3	21
7	32, 32, 40	34,6	38, 37, 38	37,6	22
8	40, 40, 29	36,3	41, 47, 37	41,6	20
9	36, 36, 38	37,3	38, 36, 38	37,2	21
10	33, 35, 35	34,3	41, 36, 38	38,3	23
Average age					21,5

Table 2

Final test data for older drivers

Driver	Test without a passenger, speed in km/h	Average speed per three drives	Test with a passenger, speed in km/h	Average speed per three drives	Age
1	40, 37, 37	38	36, 36, 38	36,6	41
2	45, 42, 40	42,3	43, 38, 33	38	46
3	40, 37, 31	36	34, 33, 31	32,6	37
4	39,42,33	38	36, 31, 32	33	36
5	32, 36, 40	36	38,40,38	38,6	45
6	48, 44, 48	46,6	32, 37, 36	35	52
7	36, 36, 36	36	32, 37, 36	35	38
8	43, 33, 37	37,6	38, 34, 39	37	42
9	34, 49, 31	38	40, 43, 42	41,6	35
10	37, 36, 33	35,3	35, 35, 31	33,6	42
Average age					41,4

average speed both with and without passengers (Table 1, Pic. 2).

For older drivers, a decrease in average speed was recorded when driving with passengers for drivers No. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10. The average speed was approximately the same both with and without passengers for drivers 5 and 9 (Table 2, Pic. 3).

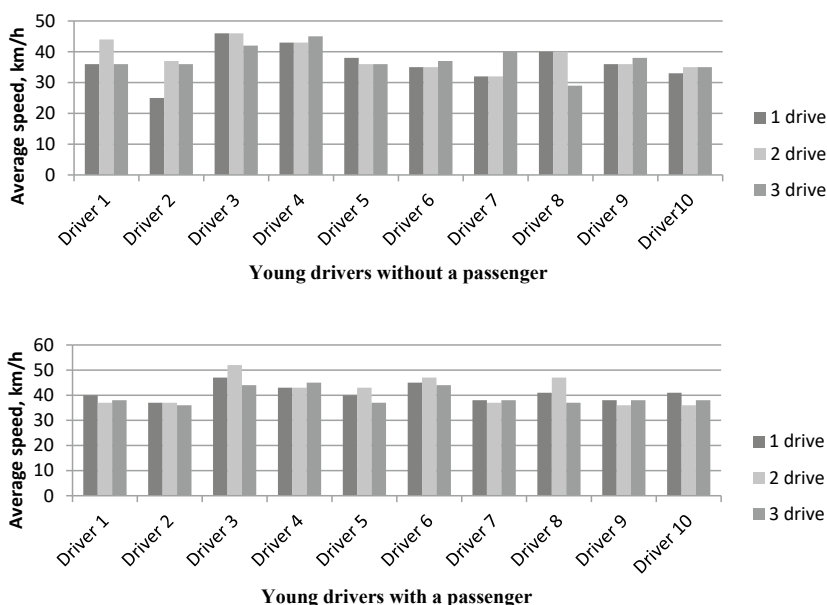
CONCLUSIONS AND PROPOSALS

Thus, the presence of a peer passenger together with a young driver, due to more frequent violations of the speed limit, can be the cause of a significant number of road traffic accidents, including those with fatalities and injuries. Considering the usual overestimation among young people of their capabilities in performance and reaction speed, knowledge about the car and methods of driving it, there is a need to introduce restrictions for young and inexperienced drivers, including on transporting passengers. In the age group of drivers 35 years

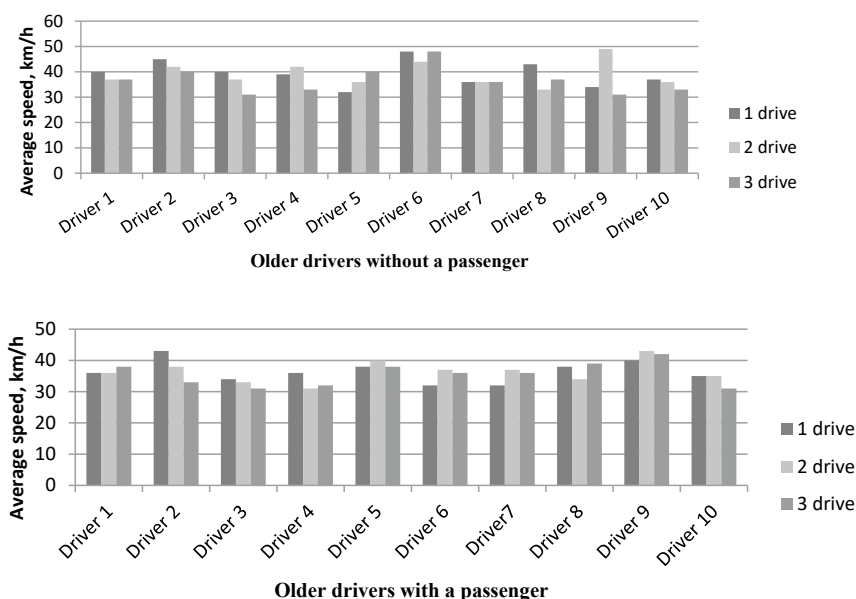
and older, the opposite dynamics is observed, i.e. the presence of a passenger in most cases either does not affect the speed, or the speed becomes lower.

One of the main directions of implementation of the Road Traffic Safety Strategy in the Russian Federation for 2018–2024 is changing the behaviour of road users for they unconditionally comply with the road traffic rules and regulations and improving the organisational and legal mechanisms for admitting vehicles and their drivers to participate in road traffic. As part of implementation of this strategy and achieving the target indicators of the federal Road Traffic Safety project, considering the research results presented in the work, it is possible to take several measures:

1. Maintaining the minimum age for obtaining the right to drive a vehicle within 18 years and introducing a system of phased access to driving a vehicle for persons of all ages who have just received a driver's license, i.e. the system which



Pic. 2. Diagrams of average speed for young drivers [performed by the authors].



Pic. 3. Diagrams of average speed for older drivers [performed by the authors].

has positively proven itself in the most successful countries in terms of road traffic accident rate [23].

2. A ban on transportation of passengers for young drivers until they reach a certain age or gain relevant experience.

3. As part of teaching the subject on psychophysiological foundations of driver activity when training in driving schools, it is necessary to conduct testing for risky behaviour propensity, which might be enshrined in Order

of the Ministry of Education of the Russian Federation dated November 8, 2021, No. 808, «On approval of exemplary professional training programs for drivers of vehicles of relevant categories and subcategories».

REFERENCES

1. Blinkin, M. Ya., Reshetova, E. M. Institutional innovations and mathematical models of Reuben Smeed in light of modern Russian transport realities. *Urban Studies and Practices*, 2019, Vol. 4, Iss. 1, pp. 43–63. DOI: 10.17323/usp41201943-63.



2. Koren, C.; Borsos, A. Is Smeed's law still valid? A worldwide analysis of the trends in fatality rates. *Journal of society for transportation and traffic studies*, 2010, Vol. 1, Iss. 1, pp. 64–76. [Electronic resource]: https://real.mtak.hu/30558/7/is_smeeds_law_still_valid.pdf. Last accessed 22.12.2023.
3. Nyberg, A., Gregersen, N. P. Practicing for and performance on drivers license tests in relation to gender differences in crash involvement among novice drivers. *Journal of Safety Research*, 2007, Vol. 38, Iss. 1, pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.jsr.2007.01.001.
4. Popov, A. V. Study on Risk Tolerance of Passenger Car Drivers Aged 18–25. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 3 (94), pp. 238–344 (Eng). DOI: 10.30932/1992-3252-2021-19-3-10.
5. Popov, A. V. Study of risk propensity among non-commercial transport drivers in the Russian Federation [Issledovanie sklonnosti k risku sredi voditelei nekommercheskogo transporta v Rossiiskoi Federatsii]. *Gruzovik*, 2021, Iss. 11, pp. 30–34. DOI: 10.36652/1684-1298-2021-11-30-34.
6. Engström, I., Gregersen, N. P., Granström, K., Nyberg, A. Young drivers – Reduced crash risk with passengers in vehicle. *Accident Analysis & Prevention*, 2008, Vol. 40, Iss. 1, pp. 341–348. DOI: 10.1016/j.aap.2007.07.001.
7. Curry, A. E., Mirman, J. H., Kallan, M. J., Winston, F. K., Durbin, D. R. Peer passengers: how do they affect teen crashes? *Journal of Adolescent Health*, 2012, Vol. 50, Iss. 6, pp. 558–594. DOI: 10.1016/j.jadohealth.2011.10.016.
8. Shepherd, J. L., Lane, D. J., Tapscott, R. L., Gentile, D. A. Susceptible to Social Influence: Risky «Driving» in Response to Peer Pressure. *Journal of Applied Social Psychology*, 2011, Vol. 41, Iss. 4, pp. 773–797. [Electronic resource]: <https://drdouglass.org/wp-content/uploads/2019/03/shepherd2011.pdf>. Last accessed 22.12.2023.
9. Bedard, M., Meyers, J. R. The influence of passengers on older drivers involved in fatal crashes. *Experimental Aging Research*, 2004, Vol. 30, pp. 205–215. DOI: 10.1080/03610730490275111.
10. Drews, F. A., Pasupathi, M., Strayer, D. L. Passenger and Cell Phone Conversations in Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology*, 2008, Vol. 14, Iss. 4, pp. 392–400. DOI: 10.1037/a0013119.
11. Ouimet, M. C., Pradhan, A. K., Simons-Morton, B. G., Divekar, G., Mehranian, H., Fisher, D. L. The effect of male teenage passengers on male teenage drivers: Findings from a driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 2013, Vol. 58, pp. 132–139. DOI: 10.1016/j.aap.2013.04.024.
12. Arnett, J. J. Developmental sources of crash risk in young drivers. *Injury Prevention*, 2002, Vol. 8, Suppl. II, pp. 17–23. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii17.
13. Kazmina, E. V., Zheleznov, E. I. The influence of driver experience and age on safe driving [Vliyaniye stazha i vozrasta voditelya na bezopasnoe upravlenie avtomobilem]. *Izv. VolSTU: interuniversity collection of scientific articles*, 2012, Iss. 2, pp. 64–66. (Ser. Ground transportation systems. Iss. 5). [Electronic resource]: <https://www.vstu.ru/upload/blokk/files/izvestiya/archive/3/2012-02.pdf>. [Full text of the collection]. Last accessed 17.02.2024.
14. Popov, A. V., Goncharevich, D. V., Sokolov, R. O. Problems of youth accident rates [Problemy molodezhnoi avariinosti]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2016, Iss. 5, pp. 14–17. EDN: WAOVDT.
15. Ouimet, M. C., Pradhan, A. K., Brooks-Russell, A., Ehsani, J. P., Berbiche, D., Simons-Morton, B. G. Young Drivers and Their Passengers: A Systematic Review of Epidemiological Studies on Crash Risk. *Journal of Adolescent Health*, 2015, Vol. 57, Iss. 1, Suppl., pp. S24–S35. DOI: 10.1016/j.jadohealth.2015.03.010.
16. Sankin, Yu. N., Romashkov, S. V. The influence of driver qualifications on the critical speed of a vehicle with different passenger loads [Vliyaniye kvalifikatsii voditelya na kriticheskuyu skorost' dvizheniya avtomobilya pri razlichnoi zagruzke passazhirami]. *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, 2010, Iss. 4(52), pp. 33–39. EDN: QJBKOT.
17. Sankin, Yu. N., Romashkov, S. V. Dynamic model of the elastic system of a car considering the characteristics of passengers [Dinamicheskaya model upravloi sistemy avtomobilya s uchetom kharakteristik passazhirov]. *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, 2010, Iss. 2, pp. 29–36. EDN: VRNSWD.
18. Rossi, I. A., Vienneau, D., Ragettli, M. S., Flückiger, B., Rössli, M. Estimating the health benefits associated with a speed limit reduction to thirty kilometres per hour: A health impact assessment of noise and road traffic crashes for the Swiss city of Lausanne. *Environment International*, 2020, Vol. 145, 106126. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106126.
19. Milton, K., Kelly, M. P., Baker, G. [et al]. Use of natural experimental studies to evaluate 20mph speed limits in two major UK cities. *Journal of Transport & Health*, 2021, Vol. 22, 101141. DOI: 10.1016/j.jth.2021.101141.
20. Cleland, C. L., Baker, G., Turner, K. [et al]. A qualitative exploration of the mechanisms, pathways and public health outcomes of a city centre 20mph speed limit intervention: The case of Belfast, United Kingdom. *Health & Place*, 2021, Vol. 70, 102627. DOI: 10.1016/j.healthplace.2021.102627.
21. Vučić, V. Transportation for Livable Cities. [Russian edition transl. from Eng.]. Moscow, Alpina PRO, 2023, 676 p. ISBN 978-5-206-00045-0.
22. Popov, A. V. Road traffic accidents. Problems of high road traffic accident rate in the Russian Federation: Monograph [Dorozhno-transportnie proisshestviya. Problemy vysokoi avariinosti v Rossiiskoi Federatsii: Monografiya]. Volgograd, VolSTU, 2020, 273 p. ISBN: 978-5-9948-3539-5.
23. Williams, A. F., Ferguson, S. A. Rationale for graduated licensing and the risks it should address. *Injury Prevention*, 2002, Vol. 8, Suppl. 2, pp. ii9–14; discussion ii14–6. DOI: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii9.

Information about the authors:

Popov, Alexander V., Senior Lecturer at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, alexandrus238@yandex.ru.

Chernova, Galina A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, Galina_vat@mail.ru.

Velikanova, Marina V., Associate Professor at the Department of Road Transport of Volzhsky Polytechnic Institute, a branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, Marina_2010@mail.ru.

Article received 10.10.2023, approved 15.02.2024, accepted 18.02.2024.

Note of the editors. Considering the importance of the research results proposed in the article, it seems quite relevant to continue the discussion and to obtain additional experimental data.



New Challenges and Prospects for the Development of Employment within Aviation Industry



Marina V. SIMONOVA



Larisa V. SANKOVA



Farida I. MIRZABALAEVA

Marina V. Simonova¹, Larisa V. Sankova², Farida I. Mirzabalaeva^{3,4}

¹ Samara Polytech, Samara, Russia.

² Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia.

³ Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia.

⁴ All-Russian Research Institute of Labour of the Ministry of Labour and Social Protection of the Russian Federation, Moscow, Russia.

¹ ORCID 0000-0001-9662-9820; Russian Science Citation Index SPIN-code: 7431-4421.

² ORCID 0000-0002-7859-8271; Russian Science Citation Index SPIN-code: 1109-5178.

³ ORCID 0000-0002-6265-5905; Scopus Author ID: 57191412471; Russian Science Citation Index SPIN-code: 5011-4886.

✉ ¹ m.simonova@mail.ru.

ABSTRACT

The article considers the current problems of transformation of the labour and employment environment in the sector of air transport in Russia in connection with the aspects of sustainable development of this industry. The use of this approach to analyse the current state and forecast development prospects is based on the trends of increasing importance of intangible assets of air transport companies.

Air transport, influencing the mobility of the population, the volume of rapid cargo transportation, has a feedback effect both for the entire country's economy and for the sphere of employment, which must be considered when determining development strategies for this sector. The objective of the study is to identify new challenges and substantiate methodological approaches to revealing quality trends in employment prospects in the sector of air transport.

The employment model acts in the case not only as a marker of the success of economic transformation, but also as a necessary factor in sustainable development and efficiency of the aviation industry. The study has revealed ambiguous trends in transformation of the employment model at air transport enterprises under the influence of both long-term and market

factors in development of air transportation, digitalisation, national features of its functioning, the consequences of the «corona crisis» and modern challenges for the Russian economy. It has been determined that under the influence of these processes, there is a reduction in employment in the economic activity of air transport with a simultaneous qualitative change in the structure of jobs, an increasing need for digital skills of employees of all skill levels, and differentiation of wages. It has been shown that digitalisation in the aviation industry can have an ambivalent effect on the demand for labour in the professional and qualification context. The study applied statistical and analytical methods, methods of content analysis, analysis of domestic and foreign publications on the examined problem. The sources of information include data from Federal State Statistics Service, large recruitment agencies and Internet job search web-portals as well as data on the labour market of air transport employees. Based on the results of the study, promising vectors for the transformation of the labour environment and new employment management strategies were identified considering changes in labour demand in response to new challenges in the development of the aviation industry to ensure its sustainable development.

Keywords: employment, air transport, vacancies, digital competencies, wages.

For citation: Simonova, M. V., Sankova, L. V., Mirzabalaeva, F. I. New Challenges and Prospects for the Development of Employment within Aviation Industry. World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 265–278. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-14>.

The original text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

The sectoral employment indicators are one of the markers of ongoing transformation processes, including in such a specific and significant sector for the country's economy as air transport. The dynamics and structure of employment in the aviation industry are determined by the structure and quality of jobs, as well as by the state of the labour market in terms of the potential supply of labour for this sector.

The growing introduction of new air transportation technologies, and particularly, the increasing complexity of technical equipment of airliners dictates the need for highly qualified flight personnel. Therewith, there is a risk that this factor comes into conflict with the decline in manual piloting skills and the ability of the crew to act as a team in an extreme situation, with excessive dependence of flight safety on automatic control, a decrease in significance of the human factor in development of qualifications, which can cause air crashes. Therefore, there is a risk of transformation of the employment structure and the concept of qualified flight personnel towards the ability to operationally manage technical on-board systems to the detriment of flight skills and the ability to make a quick decision as a synthesis of technical and personal competencies.

Changes in the structure and directions of air transportation, the conditions of the infrastructure of domestic transportation (especially intraregional) have led to a conjunctural increase in the risks of staff reduction and loss of key competencies during personnel retraining. Nevertheless, a fairly rapid reorientation of air transportation to domestic needs from international transportation and their gradual increase helped to prevent a sharp decline in employment in aviation industry. The need for qualified personnel not only did not decrease, but also increased against the background of a growing personnel shortage in all sectors of the national economy.

In view of the above, strategic personnel planning is needed in the aviation industry based on changes in the employment structure and qualification characteristics, finding a balance between requirements for qualifications and motivation in the context of risks of personnel shortage. Despite a fairly high degree of adaptation of the air transport sector to the

ongoing changes, the lack of qualified personnel in such a high-tech area as air transport can potentially serve as a brake on development of the entire aviation industry. Temporary changes in the number of aircraft accompanied in the short term by a reduction in the number of flight and maintenance personnel, the retraining of specialists and the loss of unique competencies, may, if no proactive actions are taken to prevent it, serve as a deterrent to subsequent growth of the aircraft fleet in the long term.

The objective of the study is to identify the problems and prospects for transformation of employment in air transport in the context of changing requirements for the competency model of employees, technologies, business models, logistics, and infrastructure. The transformation of operating conditions has a significant impact on the state of the human resources potential of air transport enterprises and servicing infrastructure. The availability and need for qualified personnel largely determine sustainability and development prospects of the industry, set the need to develop employment and staffing strategies taking into account long-term efficiency, which expands and complements the objectives of the study. While achieving this objective, the authors examined key employment trends, its prospects, analysed statistical data, current labour market data, and internal studies of the personnel needs of air transport enterprises.

METHODOLOGY

The methodological basis of the study comprises general scientific and statistical methods of analysis, a systems approach. The information sources for the study include the Comprehensive plan for modernisation and expansion of the trunk infrastructure for the period up to 2024; the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035; Order of the Government of the Russian Federation No. 1693-r, dated 25.06.2022, on approval of a Comprehensive program for development of the air transport industry of the Russian Federation until 2030; data of Federal State Statistics Service on sample surveys of the labour force; Federal State Statistics Service data on the salaries of air transport employees; results of a survey of employers conducted in 2018 by National agency for development of qualifications as part of testing a single toolkit

for monitoring the labour market; materials from periodicals and Internet sources.

With dynamic changes in aviation industry, labour market, development of additional methodological tools of its survey, the study has focused on long-term trends in total number of persons employed in economic activity of air transport and on development of integrated methodological approaches instead of analysis of actual situation during a certain time lapse. Besides, additional research may be conducted on the issues of employment within specific occupations, regarding, first, flight crews and pilots.

REVIEW OF RESEARCH

Several vectors can in modern scientific literature be identified in the studies on issues of employment transformation in the air transport sector.

Digitalisation and New Technology

The determinative trend in research in recent years has been associated with the problems of digitalisation covering almost all structural elements of labour processes [1]. The works of researchers emphasise the importance of digitalisation trends; the need to create digital twins of aircraft; the use of BIM technology; high capacity of technological and logistics elements of modern air transport for artificial intelligence technologies, for example, for ML (machine learning), Big Data, BI solutions, uberisation of the industry; the use of VR/AR in design, production and support of aircraft operation; industrial Internet of things. Also, a significant trend in the context of digitalisation and urgent cyber threats is the need for continuous training and development of relevant expertise among the entire industry's employees, growth in the efficiency of IT services.

The specified changes objectively require revision of industry personnel strategies for dynamic compliance of technological basic knowledge and synthesis of operational analysis of flight information, forming special competences of decision-making in a non-standard situation, as well as for advanced development of labour potential. Changes in requirements for skills of airline employees, new formats of personnel training for air transport logically follow digital trends of industry development [2]. The need to train air transport employees in management, digital and

cross-border skills is noted by various researchers. Thus, the study [3] using group data of 12 airfields in Poland over nine years, performed an analysis of the influence of human managing capital of top managers on the technical efficiency of airports, i.e. the influence of cumulated expertise of top managers along with possessed knowledge on technical performance of airports, which will contribute to optimisation of aviation management, since they are intangible exogenous factors that are difficult to assess.

It is possible to highlight the research of domestic and foreign scientists on issues of demand and modelling of passenger air transportation [4–6] using AI, neural networks and other methods.

Post-Pandemic Air Transportation Recovery

A whole range of studies are related to the impact of COVID-19 on the condition of air transport. The pandemic-induced halt in cross-border travel in the spring of 2020 forced all airlines to take large-scale measures to reduce their workforce [7]. According to the International Air Transport Association (IATA), the air transport sector provides 25 million jobs worldwide. Since the beginning of March 2020, all these jobs have clearly been at risk, along with daily announcements of layoffs to airline and airport employees [8].

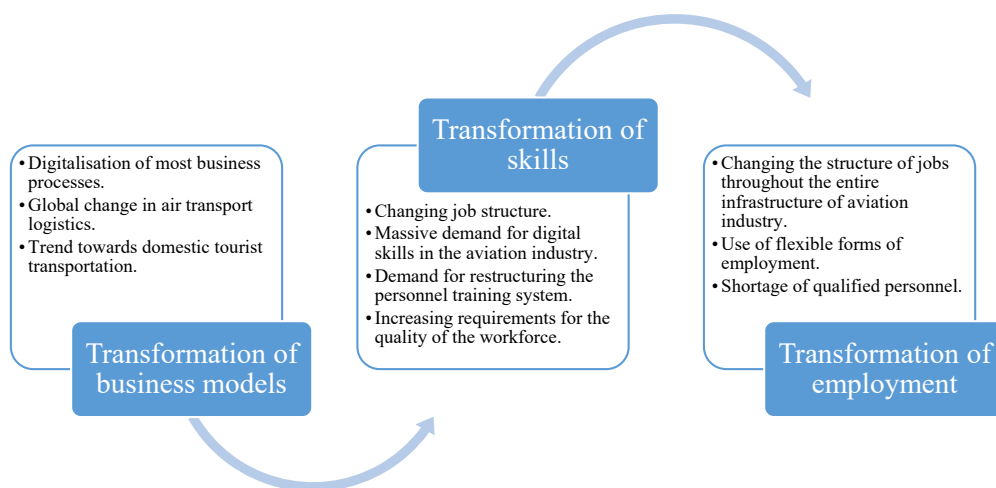
Thus, in long-term perspective, regardless of the number of employees and the relationship between employer and employee, HR strategies must be shaped to consider various scenarios and provide for emergency (such as a pandemic) response plans, to set reasonable standards for both the company and the employees [8].

Intangible Assets and Transformation of Skill Sets

An analysis of studies [9–11] allows us to state that one of the key features of new business models in the air transportation sector is an increasing dependence on intangible assets, including digital ones, but at the same time, the importance of the quality of such assets is increasing.

Modern airlines are faced with the problem of transforming the traditional system of jobs and skill sets. There is a demand for intra-organisational business changes (redistribution of employees to digital business segments, managing the impact of automation on employment) [12], which determines the relevance of the study. At the same time, it is





Pic. 1. Logical scheme of employment transformation [developed by the authors].

necessary to consider the need to follow strict regulations for conducting aviation operations at all stages of passenger servicing, transportation of cargo, mail, etc.

Interdependence of Development Vectors of Air Transportation and Employment

Thus, the prospects for development of the air transportation sector are implemented within the coordinates of «transformation of business models – transformation of skills – transformation of employment» (Pic. 1) under the influence of a whole range of external and internal factors.

The above-mentioned problems have not yet received proper scientific study, which significantly slows down the selection of new models for development of the sector, adaptation to changed conditions and determines the relevance of the research there-of.

RESULTS

Dynamics of Air Transport Indices and Main Trends

The importance of air transport in ensuring a country's economic growth is difficult to overestimate. According to calculations by the International Air Transport Association, every 10 % growth in air traffic adds 0,5 % to a respective country's GDP.

In 2019, Russian airlines carried 128,1 million passengers (57 % of which were on domestic routes). During the corona crisis in 2020, there was a 42 % decrease in the number of passenger flights by Russian companies, mainly on international routes, but in 2021, the main indices of air transport performance were recovering quite quickly.

The dynamics of passenger flows of internal air transportation for the past seven years have shown an increase of almost 1,5 times, even taking into account the pandemic decline in 2020 (Pic. 2).

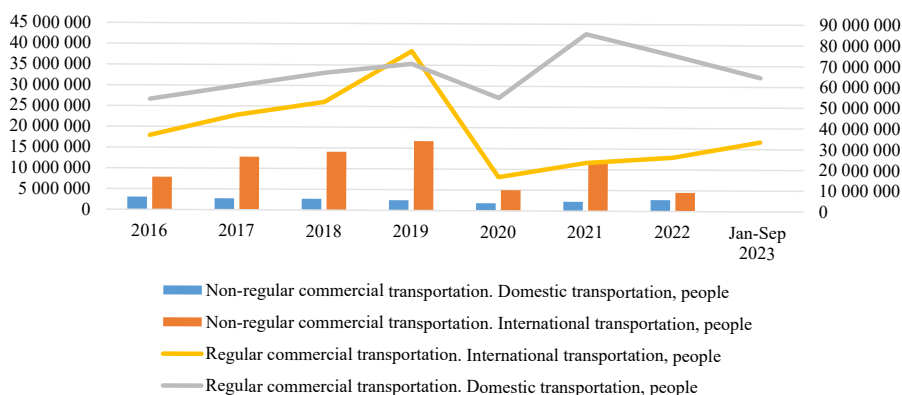
Scheduled international traffic has shown signs of growth after a sharp decline in 2020 and is almost 30 % ahead of 2022 figures for the first nine months of 2023, while domestic traffic is growing at a slower pace, only 8,3 % ahead of 2022 figures for the same period. This growth in passenger traffic under these conditions has a direct impact on employment in the air transport sector.

As for aircraft fleet, «in April 2022, Russian airlines operated 1287 aircraft for commercial transportation, most of which were imported»¹. The average age of airline passenger aircraft was 14,6 years. The government has approved a comprehensive program to expand production of aircraft, engines and instruments, which envisages the production of 1689 aircraft for domestic market and exports by 2040².

Within the framework of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030

¹ Order of the Government of the Russian Federation dated 25.06.2022, No. 1693-r, «On approval of a comprehensive program for development of the air transport industry of the Russian Federation until 2030». [Electronic resource]: <https://npalib.ru/2022/06/25/rasporiyazhenie-1693-r-id297739/>. Last accessed 24.03.2024

² Order of the Government of the Russian Federation dated 13.01.2024, N 7-r, on amendments to the Order of the Government of the Russian Federation of November 5, 2013, N 2044-r, and Approval of the Investment Project Passport «Comprehensive Program for Expanding the Production of Aircraft, Aircraft Engines, Instruments and Units, Including for the Purpose of Creating an After-Sales Service System for Civil Aircraft». [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408264869/>. Last accessed 24.03.2024.



Pic. 2. Dynamics of passenger transportation by air transport in Russia [developed by the authors based on the data of Federal State Statistics Service in the number of passengers transported: the number of passengers carried from the initial to the final point of their transportation on the flight. [Electronic resource]: <https://fedstat.ru/indicator/59496>. Last accessed 24.02.2024].

with a forecast for the period until 2035, it is noted that the volume of passenger air transportation through civil aviation airports (by Russian and foreign airlines) will grow at an average annual rate of 2,9 % and will increase by 59 % in 2035 relative to 2019: from 147,5 to 234 million passengers in 2035.

Besides forecast indices for the air transportation sector, it is necessary to note the existing problems of its development, which require new approaches to the solution. The urgent problem for development of aviation mobility remains the high cost of air transportation in comparison with the level of income of the population, high unevenness of domestic transportation, territorial disproportions in the level of development of airfield infrastructure, etc. High transport safety requirements remain valid for regional and local airports with low traffic intensity, which reduces profitability of regional transportation.

Here, it is important to consider the potential impact of investments in passenger air transport on the regional economy:

- Presence of an airport stimulates development of the regional economy, which provides additional income, promotes new and direct investments in creation of jobs and new infrastructure.

- Indirect and forced costs associated with large-scale, ongoing capital investment create benefits for local economic development and employment.

- Air route networks created by airlines can change region's economic ties with other regions and countries [13].

Generally, based on the analysis of development trends in aviation industry and review of research, several factors can be identified that influence the structure of industry employment in the air transport sector:

- A complex structure of interconnected elements of the aviation industry, shaped according to the cluster type, which requires an end-to-end long-term approach to planning staffing.

- Significant direct and indirect contribution to the domestic economy.

- A new format for functioning of the air transport sector under the influence of a set of external, technological, demographic, behavioural, cultural and socio-economic conditions, which presuppose a qualitative transformation of the demand for labour resources.

- Growing competition, requiring a revision of the basic business models of carriers and, accordingly, leading to new flows in the employment structure in air transport.

- Technological innovations based on attaining technological sovereignty, import substitution, digitalisation and autonomy, changing the requirements for staff qualifications.

- Expansion of the range of air transport services; emergence of new service delivery models, the need to consider new consumer behaviour models, including those caused by development of digital platforms and online aggregators.

- Accumulated problems caused by high unevenness of transportation, exogenous shocks and national regulatory rules.



– New tasks set for the industry in the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035.

Some of these factors determine long-term trends in employment development, while others determine short-term effects and shifts. The mutual influence of these and many other factors affecting development of air transport requires in-depth research to minimise risks and take advantage of growth opportunities, including in the field of employment and staffing in the air transport sector.

The ongoing transformation of the air transport sector is directly reflected in the indices of the number and structure of employees and their remuneration.

Trends in Employment

To identify the nature of transformational shifts in the employment structure in air transport, an analysis was conducted on the condition of labour resources in the industry in recent years.

The number of people employed in aviation and aerospace transportation sector for the period from 2019 to 2021 slightly decreased (from 84,9 thousand people to 84,1 thousand people) and is 1,8–1,9 % of the number of people employed in the transportation and storage sector³. In civil aviation in 2021, the number of flight personnel was about 43 thousand people [², P. 18–19].

For the first nine months of 2023, the average monthly number of air transport employees, excluding small businesses, was 73549,5 people, which is 4,5 % less than during the same period of the previous year. At the same time, the share of air transport employees is 3,8 % of the total number of employees of the entire transportation sector.

There were multidirectional trends in labour demand in the passenger and cargo transportation sectors. In 2017–2021, there was a 16,3 % decrease in the demand for payroll employees for vacant positions at the end of the reporting quarter (Q1–Q2) for air and aerospace transportation activity, of which the absolute majority were to be employed in scheduled

passenger air transportation (6767 people, which is also 17,1 % less than in 2017). An increase in the demand for employees was observed in the activities of cargo air transport and aerospace transportation – by 1,6 times over this period – from 487 to 777 people (of which 648 people were to be employed in cargo air transportation) as well as in auxiliary services related to air transport – by 1,2 times (from 10891 to 12962 – the majority were to be employed in airport activities (9144 people)).

Thus, the situation in the transport labour market changed dynamically under the influence of measures taken to combat COVID-19, then to minimise the effects of unilaterally imposed sanctions. For example, the number of pilots in the Russian Federation as of 01.01.2020 was 14800 people, as of 01.01.2021 it was 14600 people, i.e. the absolute reduction in the number of pilots was 200 people, the relative reduction was 1,4 %, while over the specified period, the world air transport system saw a reduction of more than 50000 pilots with a total number of approximately 400 thousand people at the beginning of 2020⁴.

If we consider the dynamics of the number of employees of companies in the air transport sector, we can see fluctuations in the number of employees of up to 10 %, which are within the limits of natural staff turnover, which is generally lower than in organisations in the entire transport industry.

Reproduction of Human Resources of Civil Aviation

The main sources of labour resources for enterprises of civil aviation are educational organisations.

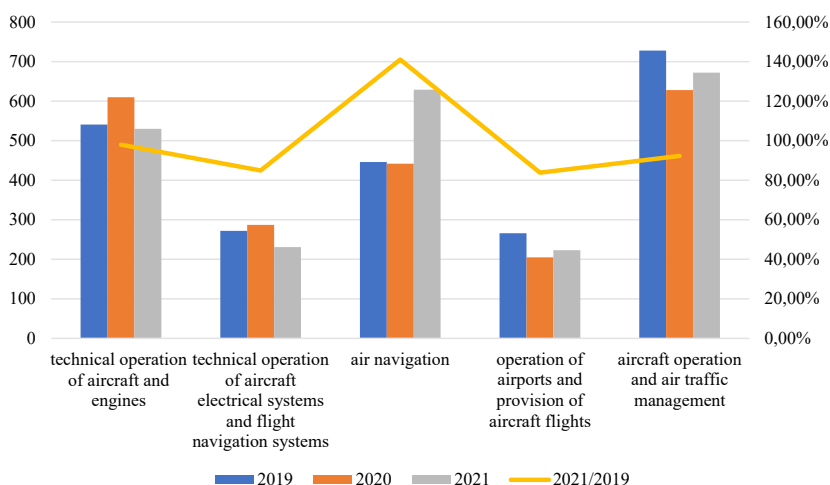
About 3,5 thousand people graduate annually to be employed as civil aviation personnel from educational institutions, of which more than two-thirds graduate from higher education programs, including about 800 pilots (Pic. 3).

The increase in the number of graduates with higher education from 2019 to 2021 took place only in the Air Navigation (by 41 %), in other directions there was a slight decrease in number of graduates.

Upon the emerging employment model in air navigation, we note that air transport is

³ Ministry of Transport of the Russian Federation: Transport of Russia. Information And Statistical Bulletin 2022. [Electronic resource]: https://mintrans.gov.ru/storage/app/media/files/3_bulleten_transport_russia.pdf. Last accessed 22.09.2023.

⁴ Results of the activity of the Federal Air Transport Agency in 2020. [Electronic resource]: <https://www.aviastat.ru/reports/84-itogi-deyatelnosti-rosaviacii-v-2020-godu>. Last accessed 20.10.2023.



Pic. 3. Bachelors, specialists, masters graduated from state and municipal educational institutions of higher education and scientific organisations in specialties and areas of training regarding operation of air transport.
 (Federal State Statistics Service. *Transport of Russia 2022. Statistical Digest*. P. 17. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf. Last accessed 24.03.2024).

a fairly dynamically developing sector of the modern economy, so employees are required to be flexible, ready for change, and to constantly improve their professional level within the framework of the work life cycle. The conducted studies of the target settings and motivators of students – future pilots [14] have revealed the high significance in the structure of motivators of income, conditions and structure of job activity, but low indicators of readiness for change.

The urgent task is to forecast the demand for staff in connection with changes in the labour market, with the set tasks of air transport development.

Several regulatory documents adopted in recent years indicate that significant measures have been taken to ensure secure staffing and develop the human resources potential of air transport. The Comprehensive Program for Development of the Air Transport Industry of the Russian Federation until 2030 identifies among the main objectives of the Program the task of stabilising the number of professional aviation personnel of the industry enterprises at a sufficient level [2, P. 3]. The Program notes that forecasting the number of people employed in the industry is complicated by a high degree of uncertainty associated with geopolitical factors; the risk of an outflow of qualified personnel due to their transition to foreign aviation companies; a shortage of personnel for the production, operation and maintenance of new and newly produced types of aircraft, which

may cause a shortage of pilots to ensure the fulfilment of the volume of air transportation in the future [2, pp. 18–30].

The task of educational institutions is to train the relevant personnel. In addition, it is necessary to ensure targeted training of specialists for the air transport industry in Russian universities. Several Russian airlines have such experience.

Respective problems can also be solved through development of succession planning in aviation industry. The order of the Federal Air Transport Agency dated June 21, 2021, No. 426-p «On approval of the Regulation on the succession pool of the Federal Air Transport Agency»⁵ defines the goals, principles, procedure for developing and work of management succession pool for air transport industry. The management succession pool will allow training of a strategically important resource for air transport management.

The Structure and Quality of Vacancies and Resume on Job Search Sites

Analysis of the structure and dynamics of supply and demand in the air transport labour market can be suggested based on the data from online job search portals. The situation in the labour market is not too simple: after a drop in

⁵ Order of the Federal Air Transport Agency dated June 21, 2021, No 426-P «On approval of the Regulation on the personnel reserve of the Federal Air Transport Agency». [Electronic resource]: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202107160028>. Last accessed 10.02.2024.



Table 1

**Data on the total number of vacancies and CVs by filters:
1. Air transport, 2. Air transportation, 3. Civil aviation for Russia**

Name of the website	Number of vacancies during the last month			Number of CVs during the last month (Russia/world)			Ratio of number of CVs to the number of vacancies (Russia/world)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
hh.ru	899	235	535	3639/ 30 610	2582/ 24 202	1017/ 10 102	4,05/ 34,05	11,0/ 103,0	1,9/ 18,9
trudvsem.ru	464	207	565	4/-	30/-	217/-	0,01/ -	0,14/-	0,38/-
zarplata.ru	204	23	40	7/ 121	7/ 133	14/ 87	0,03/ 0,59	0,3/ 5,7	0,35/ 2,18
gorodrabot.ru	387 161	132 818	28 971	37/-	43/-	25/-	0,00/ -	0,00/ -	0,00/ -
superjob.ru	383	21	51	1063/ 1522	451/ 633	546/ 815	2,77/ 3,97	21,47/ 30,14	10,7/ 15,98

Source: Compiled based on data of Internet websites, shown in Table.

supply indicators, there has been a slight increase since June 2021, which is significantly lower than the indicators of 2020 and 2019. At the same time, the dynamics of supply depends on the occupational field. The field of transport and logistics has not undergone significant changes, unlike many other sectors of the economy. Table 1 presents data on the number of vacancies and CVs collected using the filters regarding «Air transport» from the main job portals. The largest number of vacancies in the studied sector are posted on the job sites Superjob, Gorodrabot [City of Jobs], HeadHunter.

The situation in the air transport labour market, if we focus on the data of open job search databases, is ambiguous and varies depending on specialisation of the electronic job search resource, the popularity of the resource among employers and job seekers, the specifics of filter settings and search algorithms embedded in the programs. Some job search information systems provide a possibility to submit CVs from other countries, which significantly expands the process for selecting specialists. Job seekers in air transport are represented from almost all over the world and exceed the Russian segment in the number of CVs by tens of times in some areas, which shows the demand and competitiveness of Russian jobs in the air transport segment.

The situation with data on requests for foreign labour to work in Russia on jobs in air transport requires a separate analysis of the structure and quality of the labour force, which is necessary for designing staffing for the strategic perspective. Considering the global

labour market, the situation in the air transport sector is characterised by labour surplus: the number of vacancies offered is significantly less than the number of CVs, the average ratio of the number of CVs to the average number of vacancies is 50 (for the entire period of posting vacancies and CVs) and 43,35 (when analysing data for a month).

According to the hh.ru portal, air transport, included in the «Transport, logistics» activity type, is among the ten types of activity with the highest demand for specialists and among the ten types of activity in which specialists most often post CVs. At the same time, transport invariably remains one of the leaders in terms of the number of CVs and applications from young applicants (about 34 %) ⁶.

The conducted analysis showed that the greatest demand from employers is for aviation technicians and technicians in aviation technic equipment (19 % of all vacancies) and technical engineering employees (18 % of all vacancies). The number of CVs for the specified occupational groups exceeded the declared demand, the indices characterising this gap or imbalance were 53,18 and 69,91, respectively. A high gap index is typical for the following areas: flight attendants, early career and company representatives. However, the ratio of supply and demand in the air transport labour market according to open job search databases cannot be called completely objective, since the relevance of all CVs included in this sample cannot be established (there is duplication of

⁶ Young specialist: current trends of employment. [Electronic resource]: <https://hh.ru/article/29416>. Last accessed 20.10.2021.

Table 2

Total number of jobs created by groups of organisations where the average number of employees changed and by newly created organisations for the period 2017–2022, people

Years	2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Share, %		%		%		%		%		%		%
Activities of air and space transport	7826	5,03	12 022,6	6,48	6 565	4,83	4 454	2,63	3 949	2,84	6 098	3,60
Activities of passenger air transport	7 461	4,80	11 376,64	6,13	5 489	4,04	3 490	2,06	3 477	88,05	5 479	3,23
Activities of cargo air transport and space transport	365	0,23	645,96	0,35	1 076	0,79	964	0,57	472	13,57	618	0,36

Source: compiled based on Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: <https://www.fedstat.ru/indicator/58698>. Last accessed 02.10.2023.

CVs and vacancies in the databases: one applicant can create a CV on all of the named portals, the number of CVs created on each portal is not limited; when finding a job, applicants do not always delete their CVs from the databases).

Of the active CVs submitted in the air transport sector, the desired salary level was indicated in 1280 CVs, of which 16,56 % claimed a salary from 15000 to 45000 rubles, and 17,7 % – a salary over 170000 rubles. In comparison, the current average salary for the entire list of vacancies presented on the website <https://www.adzuna.ru> was in 2021 43815 rubles, in the air transport sector – 38633 rubles⁷. In general, based on websites, it is impossible to accurately determine the scale of imbalances between supply and demand in terms of salary levels, since its actual size is

⁷ Vacancy portal [adzuna.ru](https://www.adzuna.ru). Vacancies in Moscow and throughout Russia. [adzuna.ru](https://www.adzuna.ru). [Electronic resource]: [adzuna.ru](https://www.adzuna.ru). Last accessed 01.10.2021.

often determined only based on the results of interviews with potential employees. At the same time, according to the above websites, the levels of offered and requested salaries are higher than the average salary level for all other types of activities.

The analysis of graduate employment showed that most graduates successfully find work within the first six months after graduation, which confirms the demand for highly qualified specialists in this field.

Creation of New Jobs

Table 2 shows the data on jobs created at enterprises related to air transport. In general, for the «Air and aerospace transportation activities» activity type, the number of jobs created has significantly decreased from 7826 people in 2017 to 4454 people in 2020 (almost twice as much, from 5,03 % in 2017 to 2,63 % in 2020). A similar decrease is observed for passenger air transport activities (from 4,8 % in 2017 to 2,06 % in 2020).

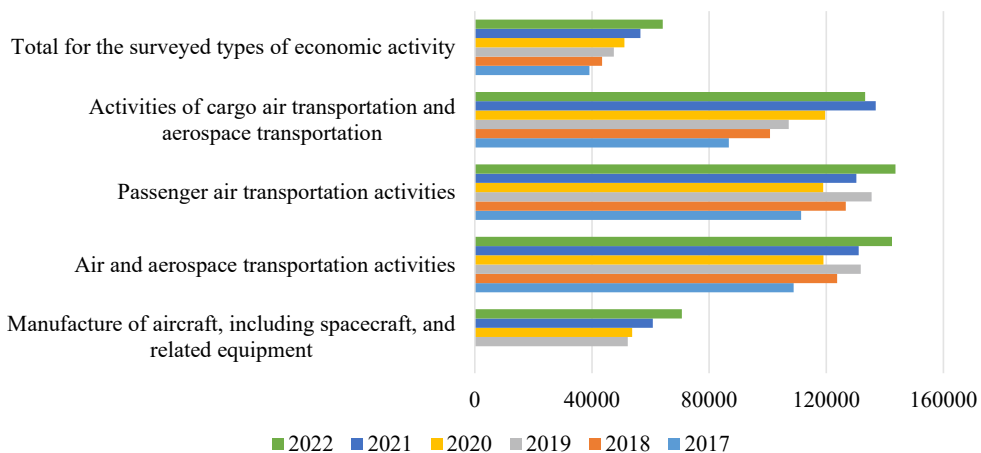
Table 3

Average monthly nominal accrued wages of those employed in economics from January 2017 until March 2023, RUB

Types of economic activities	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	January-December	January-December	January-December	January-December	January-December	January-March	January-March
Air and space transport activities	108 866	123 691,15	131 776,38	119 044	118 669,7	138 097,3	149 729,8
Passenger air transport activities	111 434	126 670,7	135 481,32	118 960,9	117 625,1	138 097,3	149 729,8
Activities of cargo air transport and space transport	86 714	100 786,2	107 204,51	119 597,2	126 212,7	135 769,0	152 398,9
Warehousing and auxiliary transport activities	45 983	46 255,58	49 158,53	51 608,9	55 525,4	88 368,5	92 074,5

Source: compiled based on Federal State Statistics Service data. [Electronic resource]: <https://www.fedstat.ru/indicator/57824>. Last accessed 17.01.2024.





Pic. 4. Average monthly nominal accrued wages for some types of activities in the sector of air transport and manufacture of aircrafts, RUB (2017–2022). [Compiled by the authors based on Federal State Statistics Service data. [Electronic resource]: <https://www.fedstat.ru/indicator/57824>. Last accessed 17.01.2024].

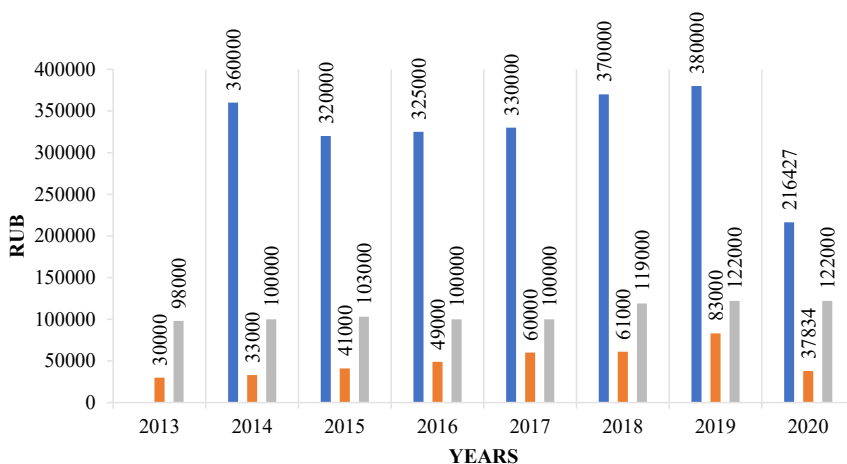
Wages

The next problem that needs to be considered when studying employment is the wages rate which is among determinant factors of attraction and retention of employees.

It is worth noting a fairly high level of wages of employees in air transport compared to the average wage both in the entire economy and in transportation sector (Pic. 4) (the average monthly wage in the air transport sector and aircraft manufacture in 2017–2022) and in Table 3 (average monthly nominal accrued wages of employees in the sector of air (passenger and cargo) and aerospace transportation activities and in warehousing and auxiliary transportation

activities from January 2017 to the period January – March 2023). Thus, in 2023 average monthly wage in air transportation was about 157 thousand rubles.

Pic. 5 shows the dynamics and differentiation of salaries for the main job positions of aviation personnel. As can be seen from Pic. 5, the difference in the level of salaries of an aircraft commander and flight attendants is on average four times, with engineers for aviation and radio-electronic equipment – three times. At the same time, the salaries of flight attendants (from 30000 in 2013 to 83000 in 2019), of aviation radio electronics engineers (by 24,5 % over the period 2014–2019) grew at a higher rate



Pic. 5. Dynamics of wages of the aviation personnel for the period from 2013 until 2020. [Analysis of the labour market in the aviation industry by the consulting company «Aviapersonal» [Electronic resource]: <https://aviapersonal.ru/uploads/s/l/n/f/Infblxkq8jfa/file/LhMgyXEv.pdf?preview=1>. Last accessed 27.09.2023].

compared to the salaries of aircraft commanders (by 12 %). The drop in wages in 2020 is associated with a sharp contraction in the labour market due to the pandemic. In the period from January to March 2023, there was an increase in average wages across all air transport by 8,4 % compared to the same period in 2022, while there is an increase in average wages in passenger transportation by 12,2 % and a decrease by 23,9 % in the cargo segment of air transport.

Forecast and Perspectives

Despite the active recovery of the air transport sector in 2023, shortage of personnel and structural imbalance in professional groups of specialties represent a significant risk for long-term planning. Quantitatively, the growth in demand for labour may arise due to the planned growth in transportation volumes. Thus, according to forecasts, the volume of passenger transportation by Russian airlines will grow at an average annual rate of 3,1 % and will increase by 63 % in 2035 compared to 2019, from 128,1 to 209 million passengers. For comparison, the historical growth rate of transportation by Russian airlines was 8,6 % per year from 2015 to 2019, in 2023 the growth compared to 2022 data was 10 % (and this does not consider full import substitution in aircraft manufacturing and serial production of domestic airliners). This will require an increase in employment and its structural transformation.

Structural Transformation of Employment

The coronavirus pandemic has highlighted several issues regarding the employment structure in the air transport industry.

International research shows that air carriers have found themselves in different situations during the COVID-19 pandemic [15]. Based on this, it can be argued that employment has been most affected by those air carriers that were focused on international markets, premium traffic and leisure travel, which require more time to recover, i.e. on the segments that according to some research ensure main growth of economic benefits of air transport (including form growth in tourism, foreign direct investment and trade), which ultimately lead to increased productivity, GDP growth and more jobs with higher wages [16].

The author of [17], estimating the impact of COVID-19, concludes that recovery from the

uncertainty shocks will take between four and six years.

Another conclusion of experts is that specialist responsible for policymaking in airport communities should evaluate training and education programs to determine whether these programs meet the needs of businesses. The employment structure will be most influenced by long-term technology trends. New technologies in the aviation industry have reduced dependence on some professions but created demand for others. Larger, more technologically sophisticated aircraft, capable of carrying more passengers and more cargo more efficiently, are replacing smaller, less efficient aircraft. This change reduces demand for core air transport jobs but increases demand for IT engineers and specialists.

So, an examination of the processes of transformation of the air transport sector operating model through the prism of employment patterns would be incomplete without considering the modification of the professional environment. According to the Atlas of New Professions 3.0, several professions will be in demand in aviation in the future. They include aeronautics infrastructure designer; aircraft recycling technologist; unmanned aerial vehicle interface designer; airship designer; operational data analyst; small aircraft production engineer; composite repairman; aircraft digital modelling specialist; load optimisation engineer; intelligent dispatch systems developer; drone controller [18]. Major airlines around the world are stating their need for qualified flight and ground personnel in the future: pilots, flight attendants, air traffic controllers [19].

Unmanned aviation is an important area of development in the aviation industry. The Order of the Government of the Russian Federation dated June 21, 2023, No. 1630-r, notes the provision of qualified personnel as a key driver for development of unmanned aviation. However, the pace of implementation of unmanned aviation technologies is outpacing the capabilities of the education system to train personnel in this area and areas of «competency gaps» are being formed, the elimination of which is critically important for development of this segment. The development of unmanned aviation creates jobs and dictates the need for training in related fields, in such professions and specialties as «unmanned aviation interface



designer», «small aircraft production engineer», «operational data analyst», «aircraft recycling technologist», «aeronautics infrastructure designer», «automation control systems programmer», «unmanned aircraft systems operation technician», «designer of ground infrastructure for operation of unmanned aircraft systems», «specialist in development of unmanned space aircraft», «developer of automatic navigation systems for unmanned aircraft», etc.⁸.

According to some forecasts, digitalisation may further lead to a reduction in the number of employees in some segments of the activity associated with robotisation of routine labour, which can be replaced by mechanised labour built on algorithms. At the same time, on the contrary, one should expect an increase in the number of personnel associated with information technology and personal interaction with clients. This trend, for example, is closely linked to introduction of chat bots with artificial intelligent for customer support services. It is eloquent that if in late 2017 this technology, according to some estimates, was used by only 14 % of airlines and by 9 % of airports, then in 2020 already 68 % and 42 % respectively planned to use it^{9,10}. Currently the application of this technology in aviation industry is widespread and covers almost all operations, from customer support to baggage claim, providing significant economic effect. Thus, the share of passengers proceeding with check-in at the airports decreased from 49 % in 2017 to 27 % in 2021, 68 % of passengers applications are automated, the number of passengers addressing call-centres decreased by 49 %¹¹.

⁸ Order of the Government of the Russian Federation dated June 21, 2023, No 1630-r, «On approval of the Strategy of development of unmanned aviation in the Russian Federation for the period until 2030 and for the period until 2030 and an action plan for its implementation. [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407003744/>. Last accessed 27.02.2024.

⁹ Airlines and the growth of chatbots: potential and brand awareness. [Electronic resource]: <https://centreforaviation.com/analysis/reports/airlines-and-the-growth-of-chatbots-potential-and-brand-awareness-424982>. Last accessed 10.02.2024.

¹⁰ E.g.: Lufthansa told about its development strategy (In Russ.). [Electronic resource]: https://www.frequentflyers.ru/2017/05/31/lh_strategy/. Last accessed 10.02.2024.

¹¹ Caballé, M. Airline Chatbot Benefits, Use Cases, and Examples for 2024. [Electronic resource]: <https://www.hubtype.com/blog/airline-chatbot-use-cases-examples>. Last accessed 10.02.2024.

The specifics of the employment model change as a projection of the main transformations in the air transport sector do not allow us to see the latent processes in the sector. The processes of employment transformation within the air transport cluster also affect the issues of the new model of infrastructure employment, in particular, the so-called uberisation [20]. Thus, foreign researchers consider development of airport servicing infrastructure. The author of [21] studies in his article the relationship between the Uber job platform and the geography of an international airport. It is noted that at the junction of the Uber platform and the airport infrastructure, various opportunities arise that could be of strategic importance for new initiatives [21].

The article [22] presents the general trend in the field of airport operational management, discusses changes in the management of education, vocational training and marketing. Since technological progress in aviation provides for increased efficiency, the authors believe that it is necessary to create a digitalisation department that would deal with optimisation of airport operations and their adaptation to technological and air traffic trends [22].

Air transport has a significant impact on production output, income and employment. The importance of the feedback effect must be considered when designing and implementing strategies for development of the sector. In the article [223], the authors examine the relationships of the air transport development as a source of economic growth and poverty reduction in developing countries and countries with economies of transition. An increase in final demand for air travel will lead to an increase in labour income, with the highest increase coming to highly skilled employees. It is concluded that the government could reduce the dispersion of income from air transport by implementing reforms aimed at increasing the level of skills. This study shows that for the sector to play a significant role in social and economic growth, its integration into the local economy needs to be strengthened [23]. This approach will allow one to explore cross-sectoral employment flows at the local level.

Generally, it can be concluded that it is necessary to elaborate sustainable employment development programs focused on specific

strategies that are adequate to the new model of functioning of the air transport cluster in the interests of all regions of Russia.

The issues of structural transformation are long-term and are determined by both the changing landscape of business strategies and technological changes. It should be emphasised that the ongoing technological and organisational changes in the air transport sector will require appropriate change agents, engineers, managers with knowledge of technical aspects and innovation factors, highly motivated for innovation and owing the ability to influence teams and manage changes.

Thus, urgent is the need for advanced training, flexible interaction between educational institutions and the aviation industry, contractual training for specific jobs

CONCLUSIONS

The conducted study showed that the current state and strategic objectives of sustainable development of the air transport sector determine the corresponding changes in the employment model in the medium and long term. Based on the identified dependence, it can be concluded that employment trends and the structure of the labour market allow one to determine the forecast characteristics of future changes in business systems. We have identified key trends in the quantitative and qualitative context regarding those employed in the air transport sector. Thus, the change in dynamics occurs in parallel with the change in the structure and requirements for personnel qualifications, the service provision model, the transformation of business processes in aviation, the growth of differentiation in remuneration of different categories of employees, the emergence of new patterns of behaviour of job seekers in the labour market in this sector (in terms of labour preferences and formats for converting accumulated human capital).

Considering the challenges facing the aviation industry, it is possible to define a system of priorities in the employment strategy:

1) Formation of strategically oriented human capital for sustainable and uninterrupted operation of this mode of transport.

2) Development of an employment cluster in the air transport sector, which implies achieving effective employment not only within the framework of operation of aircraft and

emerging hubs, but also considering interconnected areas and a system of jobs, employment in which will ensure successful implementation of business processes in the entire aviation industry.

3) Creation of the necessary environment for training future specialists and leaders of change in the air transport sector having high qualification and expanded set of competences.

As part of achieving strategic goals, it is necessary:

- To improve monitoring of the labour market and the potential of the personnel training system for the air transport sector.

- To wider use targeted training formats in universities.

- To popularise the entire range of occupations and professions related to aircraft crew members and support personnel.

- To update vocational education programs for all categories of employees in the air transport sector, considering new trends in the development of this sector.

Development of training models within the system of life-long professional training of the civil aviation specialists is of particular importance [24].

Along with mechanisms of staff training, it is necessary to develop motivation systems for those employed in the entire air transportation cluster providing external and regional transportation. Such programs should be focused on retaining flight personnel to ensure regional transportation and sustainable development of air transport.

Thus, it is necessary to ensure the effectiveness of employment in the context of the ongoing transformation through the development of human resources strategies consistent with the emerging business systems in the entire air transportation cluster, identifying and eliminating «zones of efficiency losses».

REFERENCES

1. Tikhonov, A. I., Sazonov, A. A., Novikov, S. V. Digitalisation of aviation industry [*Tsifrovizatsiya aviatsionnoi promyshlennosti*]. *STIN*, 2018, Iss. 11, pp. 29–36. EDN: YUGUXZ.
2. Pomonja, M., Laioua, A., Platia, C., Yannisa, G., Loukeab, M., Bekiarish, E. Future trends in transport workforce based on demographic, behavioural, cultural and socioeconomic factors. *Transportation Research Procedia*, 2020, 48, pp. 2811–2820. World Conference on Transport Research – WCTR 2019, Mumbai, 26–30 May 2019. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.08.237.
3. Ripoll-Zarraga, A. E., Huderek-Glapska, S. Airports' managerial human capital, ownership, and efficiency. *Journal*



- of Air Transport Management, 2021, Vol. 92, Iss. 3, 102035. DOI:10.1016/j.jairtraman.2021.102035.
4. Sushko, O. P. Modelling of Air Passenger Transportation in Russia. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 6 (103), pp. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-6-7>.
5. Komaristiy, E. N. Mathematical approaches to the analysis of demand for passenger air transportation [Matematicheskie podkhody k analizu sprosa na passazhirskie aviaperevozki]. *Marketing i marketingovie issledovaniya*, 2004, Iss. 3, pp. 10–16. EDN: HUWSTN.
6. Shchetinin, E. Yu. Study of the impact of the Covid 19 pandemic on international air transportation. *Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science*, 2021, Vol. 29, Iss. 1, pp. 22–35. DOI: 10.22363/2658-4670-2021-29-1-22-35.
7. Albers, S., Rundshagen, V. European airlines' strategic responses to the COVID-19 pandemic (January – May, 2020). *Journal of Air Transport Management*, 2020, Vol. 87, 101863. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2020.101863.
8. Serrano, F., Kazda, A. Business continuity during pandemics – lessons learned about airport personnel. *Transportation Research Procedia*, 2020, Vol. 51, pp. 56–66. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.11.008.
9. Baydukova, N. V., Bovkun, N. V. Ecosystem dynamics of air transport business development in the digital age. *Economics and Management*, 2022, Vol. 28, Iss. 6, pp. 576–583. EDN: AOOADQ. DOI: 10.35854/1998-1627-2022-6-576-583.
10. Vlasov, N. V., Bezbabnykh, N. Yu., Palkina, E. S. Trends in development of digital technologies in airports of Russia and the world [Tendentsii razvitiya tsifrovyykh tekhnologiy v aeroportakh Rossii i mira]. *Modern problems of innovation economics*, 2021, Iss. 8, pp. 24–31. EDN: BKDIAH. DOI: 10.52899/978-5-88303-634-6_24.
11. Burovtsev, V. V., Parygina, D. V. Use of a network approach in non-aviation activity of an aviation enterprise and assessment of its efficiency [Ispolzovanie setevogo podkhoda v neavitsionnoi deyatel'nosti aviaprevoznoy predpriyatiya i otsenka ego effektivnosti]. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V. N. Tatishcheva*, 2022, Vol. 2, Iss. 1 (49), pp. 5–13. EDN: UIGLPB. DOI: 10.51965/20767919_2022_2_1_5.
12. Simonova, M. V., Sankova, L. V., Mirzabalaeva, F. I. Employment In Innovation Production Networks: Regional Sample. In: *Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development: Proceedings of the International Scientific Conference «Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development» (GCPMED 2018)*, 06-08 December, 2018, Samara State University of Economics, Samara, Russia. Ed. V. Mantulenko. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2019, Vol. 57, art. 136, pp. 1341–1348. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.136.
13. Bialy, J., Rurak, A., Tomaszewska, J., Toruń, A., Woch, M., Zieja, M., Żurek, J. Statistical Analysis of the Volume of Passenger Air Traffic in Europe in years 2004–2015. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 35, pp. 72–79. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.014.
14. Erkhova, M. V., Shumkova, L. G. Research on Individual Motivators of Graduates of Transport Educational Institutions. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 5 (102), pp. 86–93. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-5-10.
15. Warnock-Smith, D., Graham, A., O'Connell, J. F., Efthymiou, M. Impact of COVID-19 on air transport passenger markets: Examining evidence from the Chinese market. *Journal of Air Transport Management*, 2021, Vol. 94, 102085. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2021.102085.
16. Njoya, E. T., Knowles, R. D. Introduction to the special issue: Air transport in the Global South. *Journal of Transport Geography*, 2020, Vol. 87, 102814. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102814.
17. Sobieralski, J. B. COVID-19 and airline employment: Insights from historical uncertainty shocks to the industry. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2020, Vol. 5, 100123. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100123.
18. Atlas of new professions 3.0. Ed. by D. Varlamova, D. Sudakov. Moscow, Intelktualnaya Literatura, 2020, 456 p. ISBN 978-5-907274-10-5. [Electronic resource]: https://atlas100.ru/upload/pdf_files/atlas_30.pdf. Last accessed 21.02.2021.
19. Women and aviation: Quality jobs, attraction and retention, David Seligson. International Labour Organization, Sectoral Policies Department, Geneva, 2019. Working Paper No. 331. [Electronic resource]: <https://www.ilo.org/media/400746/download>. Last accessed 27.02.2024.
20. Simonova, M. V., Starun, N. V., Kolesnikov, S. A., Spravchikova, N. A. Informal Employment Trends In Regional Labor Markets. In: *Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development: Proceedings of the International Scientific Conference «Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development» (GCPMED 2018)*, 06–08 December, 2018, Samara State University of Economics, Samara, Russia. Ed. V. Mantulenko. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 2019, Vol. 57, art. 82, pp. 837–845. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.82.
21. Pollio, A. Uber, airports, and labour at the infrastructural interfaces of platform urbanism. *Geoforum*, 2021, Vol. 118, pp. 47–55 DOI: 10.1016/j.geoforum.2020.11.010.
22. Zaharia, S. E., Pietreanu, C. V. Challenges in airport digital transformation. *Transportation Research Procedia*, International Conference on Air Transport – INAIR 2018, 35, pp. 90–99. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.016.
23. Njoya, E. T., Nikitas, A. The role of air transport in employment creation and inclusive growth in the Global South: The case of South Africa. *Journal of Transport*, 2020, Vol. 85, 102738. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102738.
24. Ivanova, M. O. Modelling of the continuous professional training system for civil aviation personnel [Modelirovanie sistemy nepreryvnoi professionalnoi podgotovki personala dlya grazhdanskoi aviatsii]. *Kreativnaya ekonomika*, 2021, Vol. 15, Iss. 10, pp. 3711–3724. DOI: 10.18334/ce.15.10.113672. ●

Information about the authors:

Simonova, Marina V., D.Sc. (Economics), Associate Professor, Professor at the Department of Architectural and Construction Graphics and Fine Arts of Samara Polytech Flagship University, Samara, Russia, m.simonova@mail.ru.

Sankova, Larisa V., D.Sc. (Economics), Professor, Head of the Department of Economics and Marketing of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia, sankovalv@sstu.ru.

Mirzabalaeva, Farida I., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Basic Department of Human Resources Management of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation at Plekhanov Russian University of Economics; Leading Researcher at the Department of Labour Market of All-Russian Research Institute of Labour of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation, Moscow, Russia, faridamir@yandex.ru.

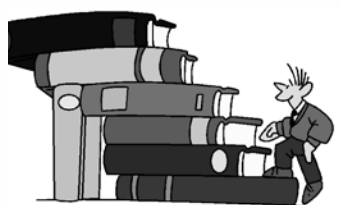
Article received 10.02.2024, approved 26.04.2024, accepted 30.04.2024.



REVIEW

280

Terminology: Russian and English abbreviations applied in transport industry.



BIBLIO-DIRECTIONS

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES

283

- *Economic assessment of transport and logistics infrastructure.*
- *Track maintenance in the presence of long irregularities in the longitudinal profile.*
- *Rational resource provision of transportation activities.*
- *Transportation of viscous oil products under changing temperature regime of the external environment.*
- *Assessing environmental pollution by energy facilities.*
- *On-board energy storage device on metro trains.*

NEW BOOKS

288

New books on transport and transportation, recently printed or posted online by Russian publishing houses and universities.





Special Abbreviations and their Significance for the Work of Transport Specialists. Review of the dictionary-reference book «Transport abbreviations. Russian and English meanings»



Anna M. Kashevskaya

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

Russian Science Citation Index SPIN-code: 6746-9459.

✉ anna.kasevskaya@gmail.com.

Anna M. KASHEVSKAYA

ABSTRACT

Transportation abbreviations. Russian and English meanings: a dictionary-reference book. Comp. by B. V. Kosmin, A. A. Kosmina, O. A. Kosmina; ed. by V. V. Kosmin. Moscow; Vologda, Infra-Engineering publ., 2024, 246 p. ISBN 978-5-9729-2015-0.

The review article reveals the necessity of knowledge, understanding and application of abbreviations by specialists of the transport sector, their use of special sources of information to

improve the professional competence on the example of a special dictionary book of Russian and English transport abbreviations under the general editorship of V. V. Kosmin. The dictionary-reference book offers the up-to-day transport terminology in the form of abbreviations and their explications in Russian and English. The concepts and notions used by specialists of the transport sector and related industries are clarified and standardised. The publication contains Incoterms 2020 updated and conform to the latest changes and agreements in the field of international logistics.

Keywords: transportation, transport specialist, transportation sector, abbreviations, special vocabulary, Incoterms, lexicography.

The use of transportation vocabulary is an integral part of the professional activity of specialists of the industry. The globalisation process has entailed technological, social, informational changes, causing the transformation of professional transport discourse. The introduction of new technologies in logistics (automation, use of information systems and mobile applications, etc.), internationalisation of transport services, environmental agenda and other significant aspects have led to the emergence of new professional terms, the use of which is

a prerequisite for the activities of transport specialists¹. The peculiarity of this terminology is the presence of numerous abbreviations used in oral and written communication, business documentation, special literature [1–3]. An «abbreviation» is understood as a compound abbreviated word formed from the initial letters or syllables of a word combination [4]. Proficiency in abbreviations is a mandatory

¹ Federal Law dated 08.11.2007, N 259-FZ, (as amended on 19.10.2023) «Statute of road transport and urban land electric transport» (effective from 01.09.2024).

For citation: Kashevskaya A. M. Special Abbreviations and their Significance for the Work of Transport Specialists. Review of the dictionary-reference book «Transport abbreviations. Russian and English meanings». World of Transport and Transportation, 2024, Vol. 22, Iss. 2 (111), pp. 280–282. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-15>.

*The original text of the review article in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

requirement for specialists of any industry, and the availability of information sources containing current professional terminology facilitates their work, and is a way to enrich their knowledge and, therefore, competence.

The Dictionary of Transport Russian and English Abbreviations under the editorship of Professor Vladimir V. Kosmin, is a lexicographic oeuvre containing abbreviations of the initial type widely used in the transport industry. The dictionary was co-authored by Anastasia A. Kosmina and Olga A. Kosmina.

The edition presents about five thousand units of Russian and English abbreviations used in the activities of all modes of transport: rail, road, air, pipeline and water, including sea and river transport. A wide range of knowledge in the transport industry allowed the authors to reflect the terminology used under various aspects of the implementation of its activities. The reference book presents the vocabulary related to the survey, design, operation, development of the transport system and to such related issues as economic development, information support, etc.

The relevance of compiling a dictionary of transport abbreviations is determined also by a possibility to clarify and standardise terms to improve the efficiency of interaction between all participants in logistics supply chains. Abbreviations are found in various types of documentation used to implement transportation processes (information and reference sources, scientific and technical, regulatory, administrative, design documentation and specifications, etc.) [5–7]. The high percentage of abbreviated technical terms without interpretation or decoding contained in documents and special literature is one of the problems faced by specialists of the transport sector. The creation of specialised sources containing the necessary information allows reducing the time to search for semantic meanings, avoiding errors and misunderstandings, and positively affects the efficiency of transport logistics operations.

It is worth noting the importance of studying and systematising special abbreviations since that contributes to the work excellence of transport specialists, because [8; 9]:

- Incorrect understanding of abbreviations can lead to errors and consequences that create a threat to transportation safety.

- Knowledge of abbreviated terms contributes to easier perception of information and increases the level of interaction with external partners.

- Standardisation using a single system of abbreviations allows to ensure the functioning of transportation processes in accordance with common norms and standards.

- The use of abbreviations saves time when working with professional documentation.

- Constant practice in working with abbreviations develops information literacy and raises the level of professional standards.

- Specificity in abbreviations for routes, types of services, modes of transport, etc. simplifies navigation within the industry and facilitates identification.

The dictionary – reference book is compiled based on normative and technical, scientific and technical, educational and methodological transport documentation. When preparing this edition, the authors analysed publications in special periodicals, collected data from domestic and foreign dictionaries of abbreviations, summarised and systematised abbreviations used in the designation of incoterms, names, locations, objects, etc.

The reviewed edition is characterised by a clear structure and consists of two parts. First, Russian abbreviations are presented in alphabetical order with the subsequent decoding of each abbreviation, followed by English designations described in a similar way. When the spelling of abbreviations with different meanings coincide, analogues are placed each on a new line via tilde (~) without repeating the designation. A series of abbreviations having identical meanings is given separated by a comma (,) and unrelated meanings are separated by a semicolon (;). The synchronised variation of terms allows to quickly and clearly define the desired concept or notion depending on the context of its use.

The advantage of the English-language part of the dictionary is the presence of a Russian translation after decoding of the English abbreviation, which significantly reduces the search for information on the meaning of a particular term. For some concepts that may cause difficulties, additional comments are given in brackets. The advantage of this edition is that it incorporates updated Incoterms-2020, referring to the transport obligations of various parties and their agreements during the implementation of international logistics processes, as well as the consequences resulting from the execution of contractual terms. Possession of up-to-date information presented in two languages enhances



the abilities of transport specialists and the efficiency of their work [3, 5, 13–15].

Dictionary of Transport Russian and English Abbreviations can be used by specialists of the transport sector when working with various aspects of professional activity. Using the dictionary as a teaching aid will be useful in the process of training future specialists to expand their terminological vocabulary and develop search skills when working with information sources. In lexicography, this oeuvre will be useful for compilers of similar reference books or methodological manuals on transport or related topics as an updated information source.

In conclusion, it should be noted that the significance of compiling the reviewed dictionary – reference book and similar publications is explained through systematisation of special terminology, facilitating transport discourse, increasing awareness of specialists when working with periodicals, special literature, business documentation, as well as the knowledge of concepts describing new phenomena, objects, transportation processes and related fields. Mastery of professional terminology contributes to enriching the qualification of transport industry specialists, increasing their career prospects and opportunities.

REFERENCES

1. Bochkarev, D. I., Kazakov, N. N. Neologisms in Transport Lexicon. Phenomenology of Transport in Literature: Past, Present, Future: Proceedings of the I International Scientific and Methodological Conference, Gomel, April 02, 2021. Gomel, Belarusian State University of Transport, 2021, pp. 11–12. EDN: KGRTZW.
2. Katermina, V. V. Cognitive and pragmatic aspect of transport neologisms of English-language discourse [*Kognitivno-pragmaticheskii aspekt transportnih neologizmov angloyazichnogo diskursa*]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2024, Iss. 1 (118), pp. 112–122. EDN: VOPBOQ. DOI: 10.23859/1994-0637-2024-1-118-8.
3. Mokhova, O. L., Lvova, N. I., Mukhina, Y. M. Features of translation of transport terminology. Science and Modern Society: Actual Questions, Achievements and Innovations: Collection of Articles of the VIII International Scientific and Practical Conference, Penza, November 30, 2021. Penza, Science and Enlightenment publ., 2021, pp. 131–133. EDN: XKJTAX.
4. Kuznetsov, S. A. Big explanatory dictionary of the Russian language. 2nd edition [*Bolshoi tolkovii slovar russkogo yazyka*]. Beijing, Shangwu Yinshuguan, 2020. 1650 p. ISBN 978-7-100-18250-8. EDN: YJKUQP.
5. Gritsyk, V. I., Kosmin, V. V. Dictionary of abbreviations. Transportation, construction, economics, management, marketing, system engineering, informatics, geoinformatics: a dictionary [*Slovar abbreviatur. Transport stroitelstvo ekonomika menedjment marketing sistemotekhnika informatika geoinformatika slovar*]. Moscow, Marshrut publ., 2009, 277 p. ISBN: 978–5–89035–545–4. EDN: WIXQZP.
6. Kosmin, V. V. Infrastructure Dictionary [*Slovar po infrastrukture*]. *Put i putevye hozyaistvo*, 2022, Iss. 5, P. 5. EDN: YHRXSF.
7. Kosmin, V. V., Kosmina, A. A. Transport lexicography: history and modernity [*Transportnaya leksikografiya istoriya i sovremennost*]. *Tekhnika transporta obrazovanie i praktika*, 2021, Vol. 2, Iss. 1, pp. 105–113. EDN: IWPJID. DOI: 10.46684/2687-1033.2021.1.105-113.
8. Drazhan, R. V., Kuznetsova, N. A. Improvement of professional and linguistic competence of a specialist in the field of transport logistics considering the requirements of professional and international standards [*Sovershenstvovanie professionalno-yazykovoi kompetencii specialista v oblasti transportnoi logistiki s uchetom trebovaniy professionalnykh i mejdunarodnykh standartov*]. *Otkritoe i distantsionnoe obrazovanie*, 2017, Iss. 2 (66), pp. 65–73. EDN: YUIBHT. DOI: 10.17223/16095944/66/9.
9. Chechetkina, A. M. Professional competencies of a specialist in the field of procurement. Professionalism of specialists in the field of procurement as a factor of successful procurement activity: Collection of scientific reports: a collection of articles. Edited by I. P. Gladilina. Moscow, Knorus, 2021, pp. 64–68. EDN: OAEPOB.
10. Bogachev, D. M. Changing the role of INCOTERMS as a universal mechanism for regulating cross-border trade. XXXIV International Plekhanov Readings: Collection of articles by graduate students and young scientists in English, Moscow, March 16, 2021. Moscow, Plekhanov Russian University of Economics, 2021, pp. 6–8. EDN: WRDPDD.
11. Burkhanov, S. B., Valkov, V. E. Analysis of changes in the interpretation of the Incoterms 2020 rules and their use in the development of maritime transportation [*Analiz izmenenii tolkovaniya pravil Inkoterms 2020 i ih ispolzovanie v razvitii morskikh perevozok*]. *Nauchnye trudi Dalribvtyza*, 2020, Vol. 54, Iss. 4, pp. 96–108. EDN: RKWLEO.
12. Petrova, A. A. Comparative legal analysis of the wording of Incoterms 2010 and Incoterms 2020. Prospective Research Solutions: collection of articles of the VI International Research Competition, Petrozavodsk, January 24, 2022. Petrozavodsk, International Centre for Scientific Partnership «New Science», 2022, pp. 225–233. EDN: ZTBVOI.
13. Rodygina, N. Y., Obukhovskaya, L. A., Dergachev, A. A., Musikhin, V. I. The role and evolution of Incoterms in the unification of international trade law [*Rol i evolyuciya terminov Inkoterms v unifikacii prava mejdunarodnoi trgovli*]. *Obrazovanie i pravo*, 2021, Iss. 11, pp. 157–166. EDN: JBXLZG. DOI: 10.24412/2076-1503-2021-11-157-166.
14. Kholopov, K. V. Incoterms 2020: the main changes for the conclusion and execution of contracts for the international sale of goods [*Inkoterms 2020 osnovnye izmeneniya dlya zaklyucheniya i ispolneniya dogovorov mejdunarodnoi kupli-prodaji tovarov*]. *Rossiiskii vneshne-ekonomicheskii vestnik*, 2020, Iss. 1, pp. 7–16. EDN: HHGYHW.

Information about the author:

Kashevskaya, Anna M., Senior Lecturer at the Foreign Languages Department of Russian University of Transport, Moscow, Russia, anna.kashevskaya@gmail.com.

Article received 18.04.2024, approved 13.05.2024, accepted 15.05.2024.

*The text in Russian is published
in the first part of the issue.*

*Текст на русском языке публикуется
в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-2-16>

Belomestnov, I. V. Improving the economic tools for assessing the transport and logistics infrastructure of the border region. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Sovershenstvovanie ekonomicheskogo instrumentariya otsenki transportno-logisticheskoi infrastruktury prigranichnogo regiona. Avtoref. dis...kand. ekon.nauk]. Novosibirsk, SGUPS publ., 2024, 24 p.

The processes of transformation of economic systems, intensively occurring in recent years, affected the transport and logistics infrastructure of Russia and its regions. The main elements of the transport and logistics infrastructure (TLI) are the transport infrastructure itself, terminals and warehouses, information systems and transport and logistics centers.

Modern TLI is continuously linked to the trends in development of international trade, which is an integral part of state policy. The change in the direction of transport flows from west to east revealed a problem of discrepancy between the transport capacity of the eastern border regions and an increase in the economy's need for transportation in this direction.

The purpose of the study was to improve scientific and methodological approaches and economic management tools that assess the prospects for development of the transport and logistics infrastructure of the border region.

General economic and regional-specific factors, as well as social and technological processes were systematised that determine the need for strategic changes in the transport capacity and transport infrastructure of border regions as part of adaptation to the strategic transformation of economic systems. The influence of these factors on development

processes taking place in the transport and logistics infrastructure is revealed.

The methods of economic assessment of development of transport and logistics infrastructure have been improved based on a comparative approach.

The concept of transport and logistics barriers as a set of obstacles and advantages in organising international transportation has been clarified and supplemented, their impact on the strategy for development of transport and logistics infrastructure has been determined, a procedure for managing transport and logistics barriers has been developed based on identifying and modelling relationships with stakeholders.

Based on experimental studies, a process approach to development of transport and logistics infrastructure has been supplemented and tested, a process model of traffic flows has been formed, a system for considering the time factor in determining the economic effect of TLI modernisation has been proposed.

A model for organising an effective digital environment for the functioning of transport and logistics infrastructure has been proposed and tested.

The results obtained can serve as a basis for further development of research in the field of the efficiency of transport and logistics infrastructure in such areas as localisation and optimisation of transport and logistics barriers, development of integrated regional development projects.

5.2.3. – Regional and sectoral economics (transport and logistics).

The work was performed and defended at Siberian Transport University.

Chechelitsky, A. I. Track maintenance system in the presence of long irregularities in the longitudinal profile in areas of maximum traction and electrodynamic braking. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya puti pri nalichii dlinnykh nerovnostei prodolnogo profilya na uchastkakh maksimalnoi tyagi i elektrodinamicheskogo tormozheniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2024, 24 p.

The development of railway transport is inextricably linked to the increase in train speeds, axle loads and the weight of cargo trains. Retrospective analysis shows that since the



beginning of the third millennium alone, the average train weight has increased by 20 %, and axle loads have grown by 26 %.

The objective of the study was to develop a scientifically sound system for assessing the impact of long track irregularities and their combination with short irregularities on safety of train traffic and track condition management in the presence of such faults.

Based on the results of the thesis, the scientific research on the causes of long profile irregularities and their impact on the dynamics of rolling stock, on intensity of fault accumulation and, consequently, on safety of the transportation process was summarised.

The parameters of long irregularities on the road network of JSC Russian Railways under various operating conditions were systematised, they were within the length range from 25 to 200 m, and within amplitude from 22 to 164 mm.

The possibility of using generalised models for assessing the influence of long unevenness on the indicators of interaction of the track and rolling stock for various variants of the influence of longitudinal forces has been proven.

The influence of longitudinal traction forces and electrodynamic braking of trains on the dynamic performance of rolling stock in the presence of long irregularities in the longitudinal profile of the track has been studied.

It has been proven that the most unfavourable effect on the performance of rolling stock dynamics is caused by combinations of irregularities in areas of maximum traction and electrodynamic braking.

A new concept has been introduced into the system of track maintenance management, i.e. immediate elimination of combinations of long irregularities with 3rd degree subsidence and 2nd degree which is close to 3rd degree.

A technology has been developed for eliminating long irregularities and their combinations with short irregularities to ensure safe train movement.

A scientifically based system has been developed for track maintenance management in the presence of long irregularities in the longitudinal profile in areas of maximum traction and electrodynamic braking.

The prospects for optimising the track maintenance system on heavy-duty sections with long irregularities formed due to insufficient bearing capacity of the subgrade been determined.

Proposals for changing the track maintenance standards and the procedure for performing works on the parameters of long irregularities

and their combinations with short irregularities for conducting operational testing have been developed and approved by the order of JSC Russian Railways dated 30.11.2023 No. 1322.

It is recommended to use the developed track maintenance system as a standard one in the presence of long irregularity of the longitudinal profile in areas of maximum traction and electrodynamic braking.

The prospect for further development of the topic is to determine the parameters of long irregularities and the rate of their development based on the track force loading value and the characteristics of the foundation soils.

2.9.2. – Railway track, survey and design of railways.

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Goryanskaya, I. V. Improving the efficiency of a transport company based on rational resource provision of transportation activities. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis [Povyshenie effektivnosti raboty transportnoi kompanii na osnove ratsionalnogo resursnogo obespecheniya perevozochnykh vidov deyatel'nosti. Avtoref. dis...kand.ekon.nauk]. Moscow, RUT publ., 2024, 24 p.

The efficiency of any enterprise depends on the rational and justified use of all types of resources. Balanced provision of resources acquires priority importance in achieving a competitive advantage in reducing costs. Increased competition in the transport market requires transport companies to search for new approaches to sustainable economic growth. One of the mechanisms for increasing the efficiency of a transport company is rational resource provision, which allows optimising the cost of transportation, guarantees higher profits and lower costs than other market participants.

The objective of the thesis research was to develop a methodological tool for managing resource provision and assessing the impact of factors of rational use of resources on the efficiency of transportation activities of a transport company.

The factors influencing the development of a competitive advantage of dominance through costs and sustainable economic growth of transport companies have been studied. A methodological tool for calculating the total economic effect when

using the competitive strategy of «dominance through costs» is proposed. The use of this model will identify critical factors leading to an increase in the cost of transportation, reduce costs and improve the quality of the company's cost planning. The results of the calculations showed that the total economic effect of the proposed approaches to resource supply management can be from 3 % to 15 % of the cost optimisation of transportation activities of a transport company.

Various approaches to resource management that do not imply additional financial resources have been analysed. A predictive tool for calculating the costs of the main types of resources purchased by a transport company to carry out transportation activities is proposed, considering various scenario conditions, which will reduce the risks of exceeding resource costs above planned values and increase the efficiency of resource supply.

The impact of the prices of purchased fuel and energy and metal-intensive resources on the costs of a transport company has been analysed.

Based on the results of the analysis, a procedure for adjusting the planned price of material-intensive resources was developed, applied when price indicators exceed threshold values, which will ensure resource parity of participants in the resource supply process. The application of the proposed procedure will allow for timely determination of the need to adjust the price of key resources within the corridor of limit values (range of threshold coefficients), which will balance the benefits and risks of both parties to the contract, and support manufacturers in case of a negative situation on the raw materials markets.

Various approaches to assessing the impact of resource factors on the costs of a transport company for transportation activities were studied. Based on the analysis, a toolkit was proposed that allows identifying costly and risky purchases of resources that have a significant impact on costs and performing their quantitative assessment.

It is proposed to use the results of this assessment both to form planned parameters and to predict possible risks that will be considered when making management decisions.

A model was developed for assessing the impact of raw material component prices on changes in the cost of metal-intensive products purchased by a transport company to ensure the transportation process.

Methods for planning efficient resource supply based on the parity benefit of the buyer (transport company) and the manufacturer of the products have been developed.

The prospect of further development of the topic is improvement of the mechanism for forming forecast prices using price parity tools, since the problem of unplanned growth in the costs of transport companies for acquisition of metal-intensive products and fuel and energy resources is associated with the rise in the cost of raw materials.

5.2.3. – Regional and sectoral economics (transport and logistics).

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Ksenofontova, V. A. Modelling of physical properties and processes of transportation of viscous oil products under conditions of changes in temperature regime of the external environment. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Modelirovanie fizicheskikh svoystv i protsessov perevozki vyazkikh nefteproduktov v usloviyakh izmeneniya temperaturnogo rezhima vneshnei sredy. Avtoref. dis...kand.tekh.nauk]. St.Petersburg, PSTU publ., 2024, 20 p.

Viscous oil products (VOP) account for a significant volume of cargo transportation in the Russian Federation, having low profitability. This fact can be explained by the physical and operational properties of the oil product during cooling: during transportation, VOP cools down, passing into a highly viscous state. Their unloading without prolonged and intensive heating, which requires additional time and resources, becomes impossible. At the same time, a distinctive feature of all viscous oil products is low thermal conductivity and a large value of volumetric thermal expansion.

The objective of the work was to improve the efficiency of the process of transportation of viscous oil products in winter (that is, reducing resource costs and duration of transport operations for transportation of VOP).

The application of the proposed numerical method for calculating the temperature distribution in a variable-thickness fuel oil layer during its heating (washout) allowed obtaining the method for a convex-concave segment.

A methodology for constructing mathematical models of the delivery process based on time stochastic Petri nets has been developed.



A statistical simulation model has been developed that allows determining a rational option for transporting high-viscosity oil products in winter conditions to improve the efficiency of both the entire transportation process and individual subprocesses, implemented using a set of programs using the Russian Business Studio platform.

The non-standard application of the Russian Business Studio platform, designed for modelling production business processes, allowed us to obtain estimates of the economic effect of the proposed method for transporting viscous oil products. As a result of the simulation modelling, we found that the capacity of one washing and steaming station can be increased by 3,4 times when cleaning the boiler of a tank car from highly viscous fuel oil residues; with the circulation method of draining the VOP, the consumption of steam and electricity is reduced by 37 % and 32 %, respectively, the unloading time is reduced by 4 % of car-hours (the testing period is one and a half years); the number of train turns during the winter period almost doubles.

The adequacy of the constructed models for the model of circulation draining of M-100 fuel oil is shown by comparing the results obtained during the simulation and the data provided by the operating organisation.

For the rest, the simulation data were compared with the results obtained analytically.

A promising direction for further research is generalisation of the mathematical model of transportation for any types of products with changing properties (general model).

1.2.2 – Mathematical modelling, numerical methods and software packages.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Kuzmin, V. R. Methodological approach, algorithms and programs for assessing environmental pollution by energy facilities. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Metodicheskiy podkhod, algoritmy i programmy dlya otsenki zagryazneniya okruzhayushchei sredy obektami energetiki. Avtoref. dis...kand.tekh.nauk]. Irkutsk, ISTU publ., 2023, 19 p.

According to the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035, the priorities of the state energy policy comprise the transition to environmentally friendly and

resource-saving energy, as well as rational use of natural resources and energy efficiency.

The objective of the work was to develop a methodological approach, algorithms and programs for assessing environmental pollution by energy facilities and supporting decision-making to reduce their harmful impact, based on the use of the author's information and computing system (ICS).

A methodological approach, algorithms and WICS ICS have been developed to assess environmental pollution by energy facilities and support decision-making to reduce their harmful impact.

The analysis of existing methods and models for assessing environmental pollution by energy facilities and approaches to constructing ICS has been performed.

A methodological approach to assessing environmental pollution by energy facilities is proposed, characterised by integration of disparate methods and the use of semantic technologies within the framework of the author's ICS and including a system of ontologies integrating ontologies of energy facilities and ontologies of the impact of energy facilities on the environment; principles of integrating methods for calculating emissions and the spread of pollutants; algorithms for calculating emissions and the spread of pollutants and an original algorithm for post-processing the results of calculating the spread of pollutants; a method for assessing the economic damage from environmental pollution by energy facilities.

A formalised model of ICS and a methodology for designing the ICS based on the agent-service approach are proposed, characterised by the use of event models to describe agent scenarios and the use of ontologies for designing databases. On its basis, an agent-service architecture was developed and a software implementation of the WICS ICS, a knowledge base storing the ontology system, and the implementation of databases of emissions of harmful substances from energy facilities (DB PEF) and snow survey results (DB SMP) were carried out.

A technology for assessing environmental pollution by energy facilities has been developed based on the proposed methodological approach and the ICS WICS.

Using the developed technology and tools, studies have been carried out based on a series

of computational experiments, the results of which show their applicability for preparing technical solutions adopted during creation and operation of energy facilities.

The results of the computational experiments have been interpreted and with the account for them, recommendations have been formulated for measures to reduce the negative impact of existing energy facilities on the environment. For the proposed recommendations, an assessment of their effectiveness was made for case of their implementation: the impact on reducing the volume of pollutant emissions and reducing the economic damage caused to the atmosphere.

The results of the thesis work have been applied in implementation of projects under the state assignment of the ISEM SB RAS, and of projects supported by grants from Russian (RFBR and RSF) and international (EAPI) scientific foundations and transferred to the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus

2.3.1 – System analysis, information management and processing, statistics.

The work was performed at Federal State Budgetary Scientific Institution L. A. Melentyev Institute of Energy Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IEMS SB RAS) and defended at Irkutsk State Transport University.

Pletnev, D. S. On-board energy storage device on electric rolling stock of the metro. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Bortovoi nakopitel' energii na elektropodvizhnom sostave metropolitena. Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2024, 24 p.

All developed countries comply with global agreements on green energy and promote the careful use of natural resources. This is expressed in adoption of various government programs on resource and energy saving. One of the sectors of the economy where this is clearly expressed is the electric power industry, and within it – the power supply of electric transport

The objectives of the thesis were to study the efficiency of introducing energy storage devices on electric rolling stock of the metro, to develop technical solutions and to find ways of practical implementation of on-board energy storage devices as part of the electrical equipment of the electric rolling stock.

The main criteria for assessing the efficiency of using an energy storage device on board an electric rolling stock of the metro were identified.

The analysis of existing types of energy storage devices was carried out resulted in outlining the most suitable ones for use on the electric rolling stock of the metro.

Foundations for ensuring energy savings and improving safety of electric rolling stock movement were developed, differing from existing theoretical solutions by introduction of an on-board storage device on the electric rolling stock.

Experimental measurements of the electric rolling stock performance indicators were conducted on two Moscow metro lines, which resulted in obtaining real data on the power consumption for inter-train exchange and excess recuperation energy.

A digital model of operation of electric rolling stock in the structure of the traction power supply system of a Moscow Metro line was created.

A methodology has been developed and the results of the conducted simulation modelling of train movement have been compared with the results of experimental measurements of the parameters of the electric rolling stock movement on the Moscow metro line using integral indicators, the method of probabilistic analysis using the logistic distribution law, and the Student's criterion. The convergence of the results has been proven.

A program has been developed for statistical analysis of the electrical parameters of the train. An additional program module has been developed to determine the number of recharge cycles and the energy capacity of the on-board energy storage device.

A structural diagram and design of the energy storage device for use on board the electric rolling stock have been developed. The main characteristics of the on-board energy storage device have been determined. During an instrumental inspection of the undercarriage space, free space for placing the on-board energy storage device was determined.

The energy capacity of the energy storage device on the rolling stock has been determined using technical and economic parameters.

A methodology has been developed and a technical and electrical engineering assessment of the effect of using the energy storage device on board the electric rolling stock of the metro



under modern operating conditions has been made. It is recommended to introduce on-board energy storage devices on electric rolling stock of metro systems to improve the energy efficiency of train traffic, as well as to ensure additional safety for passengers during emergency stops of traffic associated with interruption of power supply from the traction power supply system, due to implementation of the autonomous running function.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of original 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/10.30932/1932-3252-2024-22-2-17>

Abankina, I., Abdullaev, A., Andreeva, A. [et al.]. Cities of the Russian Federation. Urban Economy for Practitioners: Textbook [Goroda RF. Gorodskaya ekonomika dlya praktikov: Uchebnik]. Moscow, Prosveshchenie publ., 2024, 525 p. ISBN 978-5-09-118122-7.

Abdurakhmanov, K. Kh., Abuzayrov, M. I., Antonov, V. G. Business Ecosystem Management: in two books [Upravlenie biznes-ekosistemami: v dvukh knigakh]. Ed. by Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Doctor of Economics, Professor K. Kh. Abdurakhmanov. Book 2. Moscow, Plekhanov Russian University of Economics, 2024, 213 p. ISBN 978-5-7307-2094-7.

Afanasyev, M. P., Shash, N. N. Sustainable finance: Study guide. Moscow, Dashkov and Co., 2024, 223 p. ISBN 978-5-394-05868-4.

Bazhutova, E. A., Dyagileva, E. V., Korchak, E. A. [et al.]. System and modern problems, risks, opportunities for economic development of the Russian Arctic: Monograph [Sistemnye i sovremennye problem, riski, vozmozhnosti ekonomicheskogo razvitiya rossiiskoi Arktiki: Monografiya]. Ed. by T. P. Skufina, N. A. Serova. Apatity, Publishing house of Kola Science Center, 2024, 222 p. ISBN 978-5-91137-508-9.

Blau, S. L., Khomutova, E. V. Insurance of foreign economic activity: Textbook [Strakhovanie vneshneekonomicheskoi deyatel'nosti: Uchebnik]. Moscow, Dashkov and Co., 2024, 212 p. ISBN 978-5-394-05536-2.

Ganchenko, O. I., Petrova, E. V., Anastasov, M. S. Transport statistics [Statistika transporta]: Textbook for students of transport educational institutions Ed. by O. I. Ganchenko. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Finansy i statistika publ., 2024, 440 p. ISBN 978-5-00184-098-5.

Ginsky, V. V., Serga, L. K., Ionin, V. G. [et al.]. Statistics: Textbook [Statistika: Uchebnik]. Ed. by V. V. Ginsky. 5th ed., rev. and enl. Moscow, INFRA-M publ., 2024, 371 p. ISBN 978-5-16-018343-5.

Golubev, O. V. Railway track. Superstructure of the railway track. Calculations of the track gauge and a single ordinary turnout: Study guide [Zheleznodorozhnyi put. Verkhnee stroenie zheleznodorozhnogo puti. Raschety rel'sovoi kolei i odinochnogo obyknovennogo strel'nochnogo perevoda: Ucheb. posobie]. Yekaterinburg, UrGUPS publ., 2024, 114 p. ISBN 978-5-94614-552-7.

The prospect of further work on the topic is development of methods for the automated selection of the capacity of the on-board energy storage device on electric rolling stock of the metro.

2.4.2. – *Electrical engineering complexes and systems.*

The work was performed and defended at Russian University of Transport. ●

Grigoriev, N. P., Klykov, M. S., Voprikov, A. V. [et al.]. Information modelling of traction load power supply schemes: Monograph [Informatsionnoe modelirovanie skhem pitaniya tyagovykh nagruzok: Monografiya]. Ed. by N. P. Grigoriev. Khabarovsk, FESTU Publishing House, 2024, 103 p. ISBN 978-5-262-00973-2.

Gruntov, A. V. Legal competence of a deck officer: Study-method. guide [Pravovaya kompetentsiya spetsialista komandnogo plavostava: Uchebno-metod. posobie]. Kaliningrad, BGARF Publishing House, 2024, 76 p. ISBN 978-5-7481-0550-7.

Karagodin, V. I. Maintenance and repair of automobile engines: Textbook [Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilnykh dvigatelei: Uchebnik]. 3rd ed., ster. Moscow, Academia publ., 2024, 271 p. ISBN 978-5-0054-1805-0.

Latch, S. Yu., Chernysheva, O. B. Study of energy facilities: Study-method. Guide [Issledovanie energeticheskikh obektov: Ucheb.-metod.posobie]. St. Petersburg, GUAP publ., 2024, 95 p.

Nabokov, V. I. History of management thought: Textbook [Istoriya upravlencheskoi mysli: Uchebnik]. Moscow, Dashkov and Co., 2024, 273 p. ISBN 978-5-394-05515-7.

Savin, A. V., Solomatin, E. V., Korolev, V. V., Shishkina, I. V. Elements of ballastless track: Study guide [Elementy bezballastnogo puti: Ucheb. posobie]. RUT (MIIT), Moscow, Pero publ., 2024, 132 p. ISBN 978-5-00244-111-2.

Sinit'syna, A. S., Nekrasov, A. G., Konareva, N. A. [et al.]. Customer-focused transport and logistics systems and technologies: Study guide [Klientoorientirovannye transportno-logisticheskie sistemy i tekhnologii: Ucheb. posobie]. 2nd ed. Moscow, IPR Media publ., 2024, 171 p. ISBN 978-5-4497-2321-5.

Titov, S. A., Linder, N. V., Trachuk, A. V. [et al.]. Managing digital business transformation: concepts, cases, methods and tools: Monograph [Upravlenie tsifrovoy transformatsiei biznesa: kontseptsii, keisy, metody i instrument: Monografiya]. Moscow, INFRA-M publ., 2024, 222 p. ISBN 978-5-16-018697-9.

Zakirova, A. R. Methodology for professional risk management in the energy complex of railway transport: Monograph. Yekaterinburg, UrGUPS publ., 2024, 168 p. ISBN 978-5-94614-538-1.

Zarenbin, V. G., Chainov, N. D., Russinkovsky, S. Yu., Vallejo Maldonado, P. R. Modelling of the thermal state and calculation of friction pair seizure of basic heat-stressed parts of piston engines: Monograph [Modelirovanie teplovogo sostoyaniya i raschet na zaedanie par treniya bazovykh teplonapryazhennykh detalei porshnevnykh dvigatelei: Monografiya]. Ed. by D.Sc. (Eng.) N. D. Chainov. Moscow, INFRA-M publ., 2024, 221 p. ISBN 978-5-16-019033-4.

Zuev, S. M., Yakhutl, D. R., Bass, B. A., Maleev, R. A. Devices for ignition of the fuel-air mixture of heat engines: Study guide [Ustroistva vosplamneniya toplivovozdushnoi smesi teplovykh dvigatelei: Ucheb. posobie]. Ed. by S. M. Zuev. Moscow, INFRA-M publ., 2024, 181 p. ISBN 978-5-16-018125-7.

Compiled by Natalia OLEYNIK ●

BAM celebrates its half-century anniversary

The Baikal-Amur Mainline is one of the largest railways in the world. It passes through the territory of the Amur and Irkutsk regions, the Trans-Baikal and Khabarovsk territories, Buryatia and Yakutia. The BAM became a nationwide project, its construction was called the construction of the century. A total of about 2 million people participated in the construction works which took place in difficult climatic and geological conditions. Almost 1,5 thousand km are laid in areas of permafrost and high seismicity.

The Baikal-Amur Mainline crosses 7 mountain ranges and 11 large rivers. To overcome natural obstacles, 4242 bridges and culverts were built. Almost every tenth kilometre of the BAM passes over the bridge, and every hundredth – through a tunnel. In total, due to the difficult terrain, more than 30 km of the railway passes through tunnels. Severomuysky tunnel the longest in Russia was built from 1977 to 2001, put into permanent operation in 2003.

The length of the BAM is 4,3 thousand kilometers. The Baikal-Amur Mainline changed the appearance of the vast taiga region, made the large reserves of minerals and timber become a

new source for the country's economy, ensured the growing volume of cargo transportation, and strengthened the foreign economic relations of the USSR through the seaports of the Far East. Along with the BAM, new settlements and cities appeared, which made many people become residents of the area and contributed to the improvement of living conditions in Siberia and the Far East, which have always played a special historical role in the development of Russia and today remain strategically important areas.

On July 8, 2014, Vladimir Putin inaugurated the beginning of BAM-2, the largest modern construction site at the Eastern segment of Russian railway network. The BAM expansion project is aimed at increasing Russia's transport connectivity with the countries of the Asia-Pacific region and improving the conditions for the socio-economic development of the Far East.

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/11209> ●

125th anniversary of the capital's tram

More than 200 thousand people celebrated the 125th anniversary of the Moscow tram at the Belorussky Railway Station. Guests of the holiday saw a solemn parade of trams on Lesnaya Street, an exhibition of retro trams, trucks and buses on Tverskaya Zastava Square, and also attended a concert.

During the anniversary year for the Moscow tram, it is planned to hold three parades of historical trams: spring, summer and autumn.

At the same time, preparations are underway for the expansion of tram routes. At the end of May, work will begin on the restoration of the tram line on Trifonovskaya Street. In 2025, after 30 years, trams will run here again. The restored section will connect the Rizhsky Railway Station with the most popular places in the city centre.

«With the return of trams to Trifonovskaya Street, more than 70 thousand people who live or work in the area of this line will have reliable transport. Due to convenient transfers and minimum intervals, travel time will be reduced, and trips will become more comfortable. The development of the capital's tram system is carried out with the direct support of Sergei

Sobyanin», said Maxim Liksutov, Deputy Mayor of Moscow for Transport.

This year, it is planned to completely renovate the rails and sleepers on the entire Trifonovskaya Street. The length of this section is about three kilometers. The work will be carried out by specialists of the Moscow Metro. Next year, it is planned to build a new section of tracks on Gilyarovskiy Street with a U-turn ring near the Rizhsky Railway Station. Modern low-floor trams will run on the site.

The new section will pass directly next to the Russian University of Transport, one of the buildings of which is visible in the photo on the front page at the intersection of Trifonovskaya Street and Obraztsova Street.

The capital's tram system operates under the control of the Moscow Metro. Specialists regularly maintain, repair and modernise the infrastructure. Every day, about 500 trams go on the line, on which about 700 thousand trips are made on weekdays.

Compiled based the news of the Website of the Mayor of Moscow: <https://www.mos.ru/news/item/138658073/>; <https://www.mos.ru/news/item/137286073> ●



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 22, Iss. 2, 2024

Editor-in-Chief

Igor N. Rozenberg

For your letters:

Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет
транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: + 7(495)2740274 доб. 3004

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >