

Т

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

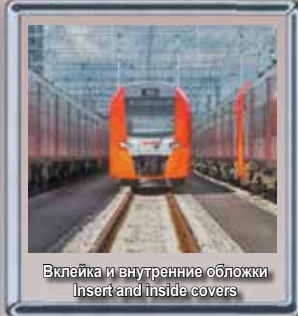
WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

5²⁰²³
Том / Vol. 21



**ОАО «РЖД»
20 лет вместе
со страной!**

**Russian Railways:
20 years with the country**



Вклейка и внутренние обложки
Insert and inside covers

Поздравление с 20-летием ОАО «РЖД» Президента Российской Федерации В. В. Путина

Сотрудникам и ветеранам открытого акционерного общества «Российские железные дороги»

Уважаемые друзья!

Поздравляю вас с 20-летием образования открытого акционерного общества «РЖД».

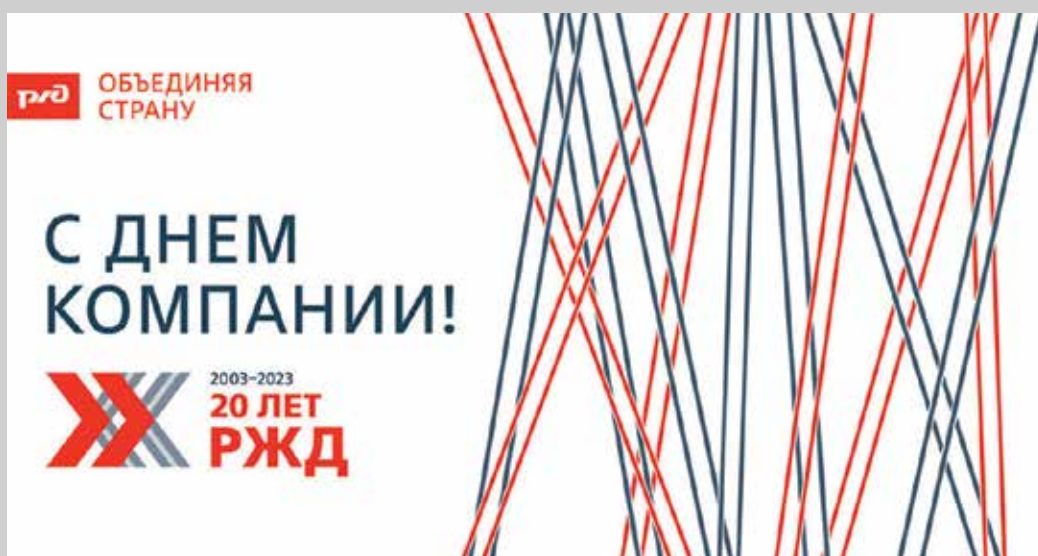
Создание ОАО «РЖД» стало важным, этапным событием для железнодорожного комплекса, отечественной экономики в целом, позволило повысить эффективность стратегической для нашей страны отрасли, сохранить её мощный кадровый и технологический ресурс.

Сегодня, опираясь на накопленный опыт и крепкие трудовые традиции, ваша компания демонстрирует весомые результаты. Проводит-

ся масштабное обновление железнодорожной сети и подвижного состава, станций и вокзалов, внедряются в практику комфортные сервисы и услуги, улучшается качество пассажирских и грузовых перевозок. И конечно, ОАО «РЖД» активно участвует в реализации приоритетных для России транспортных проектов, таких как расширение Восточного полигона и других маршрутов, модернизация Мурманского транспортного узла, восстановление железнодорожной инфраструктуры в новых регионах России, развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Желаю вам успехов и всего самого доброго!

Владимир Путин



В своём поздравлении Министр транспорта Российской Федерации Виталий Савельев отметил, что «реализуемые сегодня РЖД проекты – это огромный задел для будущего развития всей национальной экономики. Уважаемые коллеги! На крутых поворотах истории особенно важно быть вместе со своей страной. Ваш коллектив доказывает это делами, добросовестным трудом, подлинным патриотизмом и любовью к Родине. Благодарю

всех сотрудников ОАО «РЖД» за эффективную работу. Желаю новых свершений на благо нашей страны!».

**По материалам пресс-центров
Министерства транспорта Российской
Федерации и ОАО «РЖД»:
[https://company.rzd.ru/ru/9397/
page/104069?id=287712](https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=287712); [https://mintrans.gov.
ru/press-center/news/10894](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10894) ●**

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

5²⁰²³
(108)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.

Учреждён 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. Гвишиани – 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. Липидус – 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)

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

Евгения ТАРАСЕНКО, Алексей ТЯПУХИН

Матричный подход к проектированию принципов управления транспортными предприятиями

6

Роман ГОРБУНОВ, Зинаида ГОРБУНОВА, Василий КОЛЧИН

Перспективные направления исследований для выработки единых подходов оценки качества, надежности и эффективности организации дорожного движения

16

НАУКА И ТЕХНИКА

Галина ТЛЯВЛИНА, Роман ТЛЯВЛИН, Нестифор ЯРОСЛАВЦЕВ

Защита транспортных сооружений от волнового воздействия путем создания песчаного волногасящего пляжа

24

Иван ДЕМИДОВ, Владимир ПОЛЯКОВ

Оптимизация конструкции подводного плавающего сооружения

34

Михаил ЗБРЫСЬКИЙ

Оценка влияния строительства армогрунтовых подпорных стен на фундаменты устоев раздельного типа

46

Дмитрий ПОПОВ, Вячеслав ЕПИФАНОВ, Владислав ЗЯБРОВ

О взаимосвязи крутильных колебаний и опрокидывающего момента судовых дизелей

53

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

Родион РОГУЛИН

Оптимизация лесопромышленных цепочек поставок: математическая модель и анализ региональных источников на примере Приморского края

60

Владислав РАХАЕВ, Елена КУЗИНА, Марина ВАСИЛЕНКО

Разработка предложений по повышению эффективности использования отечественного подвижного состава повышенной вместимости на юге России

70

Ольга ПАНОВА, Сергей ВАКУЛЕНКО, Павел ЕГОРОВ

Унификация составов пассажирских поездов при организации нерегулярных железнодорожных перевозок

79

Сергей АНДРЕЕВ

Разработка метода оценки качества транспортного обслуживания населения в системах планирования городских транспортных систем

84

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», 2023

Михаил БОЯРШИНОВ, Александр ВАВИЛИН

Продолжительность движения автомобилей в потоке как индикатор транспортного затора 93

Александр ЦЫГАНОВ

Результаты конъюнктурного исследования деятельности по ремонту автотранспорта по договорам ОСАГО 106

БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

Дмитрий ЕФАНОВ, Евгений МИХАЙЛЮТА, Артём ПАШУКОВ

Технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами 116

Александр ЦЫГАНОВ, Никита ОСИНЦЕВ, Александр РАХМАНГУЛОВ, Андрей ЗЕНКИН

Критерии устойчивости контрейлерной системы 126

Михаил МАЛЫШЕВ

Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов путём определения незаполненного объёма полувагона методом стереофотограмметрии 135

Мария КУПРИЯНОВИЧ

Роль и место Международного кодекса по охране судов и портовых средств в международно-правовом механизме обеспечения безопасности на морском транспорте 142

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Дмитрий ЛЕВИН

С. Ю. Витте – создатель теории железнодорожных тарифов. Часть 1 150

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Ирина ЧЕРНИГИНА

Лекарство от «головной боли» железнодорожников (рецензия на монографию «Экономическая оценка сезонной неравномерности перевозок») 156

Авторефераты диссертаций 159

Новые книги о транспорте 162

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 15.12.2023. Тираж 150 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У.

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

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

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 21 2023
Iss. 5

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)

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 Duc 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

- Eugenia A. TARASENKO, Alexey P. TYAPUKHIN*
Matrix Approach to Designing Principles of Management
of Transport Enterprises 164
- Roman N. GORBUNOV, Zinaida V. GORBUNOVA, Vasily S. KOLCHIN*
Promising Areas of Research for Developing Single
Approaches to Assessing the Quality, Dependability
and Efficiency of Traffic Management 174

SCIENCE AND ENGINEERING

- Galina V. TLYAVLINA, Roman M. TLYAVLIN, Nestifor A. YAROSLAVTSEV*
Protection of Transport Structures from Wave Action
by Creating a Sandy Wave-Damping Beach 182
- Ivan M. DEMIDOV, Vladimir Yu. POLIAKOV*
Optimisation of the Design of an Underwater
Floating Transport Structure 192
- Mikhail T. ZBRYSKIY*
Assessment of the Impact of Construction of Reinforced
Soil Retaining Walls on Abutment Pile Group Foundation 204
- Dmitry A. POPOV, Vyacheslav S. EPIFANOV, Vladislav A. ZYABROV*
On the Relationship of Torsional Vibrations
and Breakdown Torque of Marine Diesel Engines 211

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS

- Rodion S. ROGULIN*
Optimisation of Timber Supply Chains: Mathematical Model
and Analysis of Regional Sources Using
the Example of Primorsky Region 218
- Vladislav A. RAKHAEV, Elena L. KUZINA, Marina A. VASILENKO*
Development of Proposals for Increasing the Efficiency
of Using Domestic High-Capacity Rolling Stock in the South of Russia 228
- Olga N. PANOVA, Sergey P. VAKULENKO, Pavel A. EGOROV*
Unification of Passenger Trains when
Organising Irregular Railway Transportation 236
- Sergey A. ANDREEV*
Development of a Method for Assessing the Quality of Public
Transport Services within Urban Transportation Planning Systems 241

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

Mikhail G. BOYARSHINOV, Alexander S. VAVILIN

Duration of Car Movement in the Flow
as a Traffic Congestion Indicator 250

Alexander A. TSYGANOV

Results of a Market Study of Vehicle Repairs Covered
by Compulsory Motor Third Party Liability Insurance 262

SAFETY AND SUSTAINABILITY

Dmitry V. EFANOV, Evgeny M. MIKHAILYUTA, Artem V. PASHUKOV

Technological Basis for Data Interoperability
of Highway Structural Health Monitoring
Systems and Intelligent Transport Systems 272

Alexander V. TSYGANOV, Nikita A. OSINTSEV,

Alexander N. RAKHMANGULOV, Andrey A. ZENKIN
Sustainability Criteria for a Piggyback System 282

Maxim I. MALYSHEV

Control of the Safety of Bulk Cargo by Determining the Unfilled
Volume of the Gondola Car with Stereophotogrammetry 291

Maria S. KUPRIYANOVICH

The Role and Place of the International Ship and Port
Facility Security Code in the International Legal Mechanism
for Ensuring Security in Maritime Transport 298

HISTORY WHEEL

Dmitry Yu. LEVIN

S. Yu. Witte – Originator of Railway Tariffs Theory. Part 1 306

BIBLIO-DIRECTIONS

Irina A. CHERNIGINA

A Cure for Railway Employees' Headaches
(Review of the Monograph «Economic Assessment
of Seasonal Unevenness of Transportation») 312

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 314

New Books on Transport and Transportation 316

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

108 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 150 hard copies available on subscription.

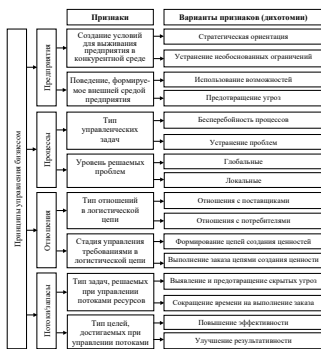
All articles in the journal are published in Russian and English, both versions being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked with ✉.

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.



УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ: МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД

6

Применение бинарных матриц, сформированных на основе классификационных признаков объектов и их вариантов, для проектирования принципов управления. Предложены направления совершенствования систем управления транспортными предприятиями и различными типами цепей (ценностей, поставок, требований и новинок), созданными на их основе.

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ



ОРГАНИЗАЦИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

16

Как определить и рассчитать критерии качества, надёжности и эффективности организации дорожного движения? Оценки перспективности дальнейших направлений исследований организации дорожного движения как с технической точки зрения (например, с использованием инструментария геоинформатики), так и через подходы, применяемые в теории менеджмента, например, через функцию временных затрат. Два подхода к организации дорожного движения на улично-дорожной сети: механистический и органический.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.07

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-1>

Матричный подход к проектированию принципов управления транспортными предприятиями



Евгения ТАРАСЕНКО



Алексей ТЯПУХИН

Евгения Алексеевна Тарасенко ¹,
Алексей Петрович Тяпухин ²

^{1,2} Оренбургский филиал Института экономики
УрО РАН, Оренбург, Россия.

¹ Оренбургский институт путей сообщения –
филиал СамГУПС, Оренбург, Россия.

✉ ¹ t_e_a_t@mail.ru.

✉ ² aptyapuhin@mail.ru.

¹ ORCID 0000-0001-5940-5254;

SPIN-код: 4963-2714; Author ID: 863450.

² ORCID 0000-0002-1819-5905;

Researcher ID: U-8251-2017;

Scopus ID 57227058200; SPIN-код: 2503-5848,

Author ID: 167766.

АННОТАЦИЯ

Целями статьи является обоснование матричного подхода к проектированию принципов управления транспортными предприятиями и бизнесом, а также уточнение и дополнение количества и качества данных принципов.

В качестве методов исследования выбраны методы классификации, а в качестве инструмента использованы бинарные матрицы, сформированные на основе классификационных признаков объектов и их вариантов.

В ходе исследования получены следующие результаты: обоснован подход к проектированию принципов управления транспортными предприятиями и бизнесом, обеспечивающий их структуризацию и согласование как по вертикали или уровням управления, так и по горизонтали или по долж-

ностям; разработаны варианты принципов управления организацией и бизнесом; определены направления совершенствования систем управления транспортными предприятиями и различными типами целей, созданными на их основе.

Внедрение полученных результатов позволит снизить упущенную выгоду предприятий и созданных на их основе целей, сократить время и затраты на подготовку и выполнение управленческих решений, своевременно реагировать на уникальные требования конечных потребителей товаров и/или услуг, а также обеспечить соответствие параметров и характеристик внутренней среды предприятий и созданных на их основе целей, продолжительности и волатильности факторов внешней среды.

Ключевые слова: транспортные предприятия, принцип, управление, проектирование, организация, бизнес, фактор, признак объекта, вариант признака, цепи поставок, уровни управления.

Для цитирования: Тарасенко Е. А., Тяпухин А. П. Матричный подход к проектированию принципов управления транспортными предприятиями // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Роль транспортных предприятий во всех сферах современного бизнеса очень сложно переоценить [1]. Бизнес развивается стремительными темпами, в связи с этим перед руководителями все чаще возникает вопрос необходимости своевременной доставки различных грузов.

Так как система управления перевозками является неотъемлемой частью общей системы управления организацией [2], то её следует рассматривать с позиции матричного подхода к проектированию управления организацией и бизнесом.

Принципы управления социально-экономическими системами играют важную роль для достижения целей транспортных организаций, в том числе, в части их цепей поставок [3].

Они позволяют конкретизировать подходы к достижению целей и решению задач, создают предпосылки для разработки стратегий, определяют содержание методов воздействия на персонал, регламентируют формы сотрудничества со сторонними организациями, способствуют внедрению организационной культуры и решению конфликтов, указывают направления изменений и внедрения инноваций и др.

Если рассматривать транспортную организацию как систему, требующую управления, то в её составе принято выделять субъект (кто управляет?) и объект (кем управляют?). Это означает, что субъект (совокупность руководителей) и объекты (совокупность исполнителей) организуют свою деятельность на основе соответствующих принципов. При этом следует учитывать, что субъект и объект имеют разные структуры, причём для субъекта управления характерна организационная структура управления, а для объекта основной является производственная структура организации. Субъект и объекты управления при наличии общей цели (как правило, это получение прибыли) решают разные задачи и выполняют только им свойственные функции. Исходя из этого, можно сделать вывод, что принципы управления, используемые субъектом и объектом управления, с одной стороны, имеют разное содержание, а, с другой стороны, они должны быть структурированы и согласованы не только внутри организации, но и за её пределами, например, в цепях создания ценностей для конечных потребителей продукции и/или услуг.

Решение данных задач существенно затруднено по причине сложности, неоднородности,

изменчивости и скоротечности факторов внешней среды организаций и требует использования системного подхода, основу которого составляют появление новых свойств или условий, иерархия составных частей, а также коммуникация и управление этими частями [4].

В данной статье представлены результаты исследования, целью которого являлось проектирование принципов управления организацией или совокупностью руководителей, принимающих и внедряющих управленческие решения, и бизнесом или совокупностью исполнителей, создающих ценности для конечных потребителей продукции и/или услуг, которые могут применяться в деятельности транспортных организаций.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод проектирования принципов управления относится к группе качественных методов исследования сложных объектов [5].

Любой сложный объект выполняет функции, обладая при этом количественными параметрами и качественными характеристиками. Если в качестве объекта исследования выбран «принцип управления», то ему свойственны качественные характеристики или атрибуты. Важно разграничивать объекты исследования и факторы внешней и внутренней среды, предопределяющие формирование нескольких вариантов объекта исследования. Факторы внешней и внутренней среды организации также описываются количественными параметрами и качественными характеристиками. В данном исследовании приоритет будет отдаваться их качественным характеристикам или признакам. Фактор, характеризующийся набором признаков, варьирующихся в широком диапазоне, ограниченном дихотомиями, воздействует на объект исследования. При этом не всегда признаки факторов внешней и внутренней среды меняются непрерывно и плавно от одной дихотомии к другой [6]. В ряде случаев можно выделить несколько их фиксированных вариантов. Например, признак «роль работника в организации» фактора внутренней среды «персонал» можно рассматривать в двух вариантах: работник как личность и работник как лицо, принимающее (исполняющее) решения. Трудно назвать эти два варианта дихотомиями, поскольку главными для данного работника могут быть другие, менее значимые для исследователя





Личность (0)
Роль работника
В организации
Исполнитель (1)

Элемент: должность (0) Связи: коммуникации (1)

Компетентность (000)	Информированность (001)
Организационная структура (010)	Поведение в группе (011)

Рис. 1. Классификация групп принципов управления организацией, код «0» [разработано авторами].

варианты признака. Поэтому признаки фактора и их варианты должны иметь приоритеты (ранги) в зависимости от задач исследования [7]. Необходимо также сделать акцент на том, что одновременно можно использовать несколько признаков одного фактора, каждый из которых может иметь несколько вариантов. Иными словами, при проектировании принципов управления организацией и/или бизнесом необходимо выделять факторы внешней и внутренней среды, потом признаки данных факторов и, наконец, варианты данных признаков.

Таким образом, при проектировании принципов управления транспортной организацией и/или бизнесом следует выполнить следующие этапы:

1) определить приоритетные факторы внешней и внутренней среды объекта исследования, приоритетные признаки данных факторов и варианты данных признаков (дескрипторный метод);

2) используя совместно по два признака различных факторов, оказывающих воздействие на объект исследования, включая два варианта каждого из этих признаков (или менее точно, дихотомий), сформировать совокупность бинарных матриц (фасетный метод);

3) заполнить ячейки бинарных матриц принципами управления, адекватными выбранным признакам и их вариантам.

Полученная с помощью данных этапов совокупность принципов управления обладает следующими свойствами:

а) количество полученных принципов кратно 2^x , где цифра «2» отражает количество вариантов признака (дихотомий), а x – количество использованных признаков фактора. Нетрудно заметить, что каждый из полученных при этом принципов может быть обозначен бинарным кодом, что значительно облегчает их цифровизацию для разработки и применения компьютерного обеспечения управленческой деятельности;

б) в простейшем случае сначала формируются группы принципов управления, число

которых кратно 2^x или их первый уровень; каждая группа в свою очередь делится на принципы управления; каждый принцип в соответствии с задачами исследования также может быть поделён на компоненты принципов и т. д.;

в) принципы управления взаимосвязаны как по признакам различных факторов, так и по их вариантам, что облегчает внедрение данных принципов, связав их содержание по вертикали (уровни управления) и горизонтали (должности);

г) в случае изменения факторов внешней и внутренней среды организации меняются соответствующие им признаки и варианты, что позволяет либо доработать, либо заново спроектировать совокупность принципов управления, обеспечив тем самым их преемственность, гибкость и адаптивность к меняющимся условиям деятельности организации, в том числе созданных на их основе цепей (ценностей, поставок, требований и новинок и т. д.).

Как было показано ранее, принципы управления социально-экономическими системами можно разделить на две группы принципов (на основе признака «тип лица, имеющего отношение к управленческому решению» и его вариантов: «лица, принимающие управленческие решения», код «0», и «лица, участвующие в создании ценностей для конечных потребителей продукции и/или услуг», код «1»). В первом случае проектируются принципы управления организацией, во втором случае формируются предпосылки для проектирования принципов управления бизнесом или, например, цепями поставок. На базе кодов «0» и «1» формируются группы признаков с трёхзначным кодом, а также принципы управления с пятизначным кодом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проектирование принципов управления организацией (лицами, принимающими управленческие решения)

Для того чтобы сформировать группу принципов управления организацией, необходимо выделить главный фактор её внутренней среды, которым является система управления или лица, принимающие управленческие решения. К базовым признакам данного фактора относятся: «компоненты системы управления» и их варианты: элемент или должность, код «0», а также связи или ком-

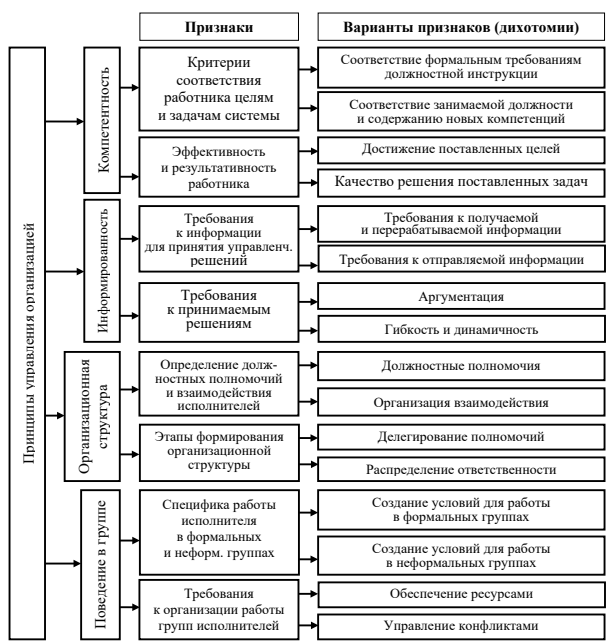


Рис. 2. Иерархия признаков и вариантов, обеспечивающих проектирование принципов управления организацией [разработано авторами].

муникации, код «1», а также «роль работника в организации» и её варианты: личность, код «0», и исполнитель, код «1».

Совместное использование данных признаков и их вариантов позволяет сформировать четыре группы принципов управления организацией или принципов первого уровня: «компетентность», код «000», «информированность», код «001», «организационная структура», код «010», и «поведение в группе», код «011» (рис. 1).

Из рис. 1 следует, что основу проектирования составляют компетентность лиц, принимающих управленческие решения (их информированность, позволяющая обосновывать данные решения); организационная структура, обеспечивающая условия для структуризации и согласования управленческих решений по уровням и должностям организации, а также поведение лиц, принимающих решения в формальных и неформальных группах, облегчающее их взаимодействие на всех этапах жизненного цикла данных решений. Можно сделать вывод, что представленные на рис. 1 группы принципов управления достаточны для корректировки основных разделов менеджмента организации.

Группы принципов управления организацией, код «0», в свою очередь, нуждаются в конкретизации. Для решения данной задачи целесообразно использовать признаки групп

и варианты признаков, представленные на рис. 2.

Данные признаки и варианты позволяют:

1) оценить компетентность лиц, принимающих управленческие решения, с точки зрения целей и задач, стоящих перед системой управления организацией, учитывая их соответствие должностным инструкциям и требованиям сложившейся управленческой ситуации;

2) уточнять требования к информации, управлению информационными потоками, а также качеству принимаемых решений не только в оперативном, но и в стратегическом аспекте, учитывая упущенную выгоду;

3) контролировать рациональность организационной структуры управления организации с точки зрения её соответствия состоянию внешней среды организации, предопределяющей корректировку её целей и задач, а также функций, выполняемых лицами, принимающими управленческие решения;

4) обеспечивать эффективную поддержку не только отдельных работников организации в соответствии с занимаемыми должностями, но и формальных и неформальных групп, позволяющих получить синергетический эффект.

Используя информацию рис. 2, можно обосновать количество и содержание принципов управления организацией (рис. 3).





Эффективность и результативность работника Достижение поставленных целей (0) Качество решения поставленных задач (1) Этапы формирования организационной структуры Распределение ответственности (1) Делегирование полномочий (0)	Группа принципов (000) «Компетентность»		Группа принципов (001) «Информированность»		Гибкость и динамичность (1) Аргументация (0) Обеспечение ресурсами (0) Управление конфликтами (1) Требования к организации работы топик-исполнителей	
	Критерии соответствия работника целям и задачам системы управления		Требования к информации для принятия управленческих решений			
	Соответствие формальным требованиям должностной инструкции (0)	Соответствие занимаемой должности и содержанию новых компетенций (1)	Требования к получаемой и перерабатываемой информации (0)	Требования к отправляемой информации (1)		
	Образование и обучение (00000)	Кропотливость, усердие и инициатива (00001)	Доступность и защита информации (00100)	Структурированность и логичность информации (00111)		
	Опыт, интуиция, поведение в условиях неопределенности и риска (00010)	Порядок, приоритеты и дисциплина (00011)	Релевантность информации (00110)	Вариантность управленческих решений (00110)		
	Полномочия и власть (01000)	Разделение и кооперация (01001)	Инвестиции в человеческие ресурсы (01100)	Стимулирование неформальных отношений (01101)		
	Централизация (01010)	Скалярная цепь (01011)	Общительность и коммуникабельность (01110)	Эмпатия и поддержка (01111)		
	Должностные полномочия (0)	Организация взаимодействия (1)	Создание условий для работы в формальных группах (0)	Создание условий для работы в неформальных группах (1)		
	Определение должностных полномочий и взаимодействия		Специфика работы исполнителя в формальных и неформальных группах			
	Группа принципов (010) «Организационная структура»		Группа принципов (011) «Поведение в группе»			

Рис. 3. Классификация принципов системы управления организацией [разработано авторами].

Рис. 3 позволяет сделать следующие выводы:

а) как было отмечено ранее, число принципов управления при совместном использовании нескольких признаков и двух их вариантов равно 2^x . При многоуровневой структуризации данных принципов на первом уровне их будет четыре, на втором уровне – 16, на третьем уровне – 64 и т. д.;

б) каждый принцип имеет пятизначный бинарный код, позволяющий использовать компьютерное обеспечение управленческой деятельности, с помощью которого можно обрабатывать значительные объёмы информации, сопровождающей внедрение и использование принципов управления;

в) принципы управления имеют чёткую структуру, позволяющую распределить данные принципы по горизонталям и вертикалям управления организацией и обеспечить создание взаимосвязей между должностями

и уровнями управления. Так, за внедрение и использование всех принципов управления отвечает генеральный директор организации, за группу принципов – функциональные директора, а за каждый принцип в отдельности (в случае необходимости) – начальник отдела, подчиняющийся функциональному директору;

г) взаимосвязи между принципами (начальниками отделов) или их группами (функциональными директорами) поддерживаются благодаря общим вариантам признаков объекта управления. Например, принцип «скалярная цепь», код «01011», связан с принципом «централизация», код «01010», посредством варианта «распределение ответственности» признака «этап формирования организационной структуры». Одновременно принцип «скалярная цепь», код «01011», имеет связи с принципом «разделение и кооперация», код «01001», благодаря варианту

	Компонент скалярной цепи	
	Структура	Должность
Характеристики скалярной цепи	Целостность	Иерархия (0101100)
	Ограничения	Заменимость (0101101)
		Формализация (0101110)
		Субординация (0101111)

Рис. 4. Классификация компонентов первого уровня принципа «скалярная цепь», код «01011» [разработано авторами].

«организация взаимодействия» признака «определение должностных полномочий и взаимодействия исполнителей». Аналогичным образом можно установить взаимосвязи между группами принципов управления организацией, для чего следует использовать признаки и варианты, представленные на рис. 1;

д) каждый из принципов управления организацией может быть структурирован на компоненты нескольких линейно упорядоченных уровней.

В качестве примера можно привести принцип «скалярная цепь», код «01011», который с помощью признаков и их вариантов – «компонент скалярной цепи» («целостность» и «ограничения»), а также «характеристики скалярной цепи» («целостность» и «ограничения») – может быть поделён на компоненты первого уровня: «иерархия», код «0101100», «заменимость», код «0101101», «формализация», код «0101110», и «субординация», код «0101111» (рис. 4).

Если в качестве компонента принципа «скалярная цепь», код «01011», взять компонент «иерархия», код «0101100», то с помощью таких признаков и их вариантов («принципы формирования иерархии в скалярной цепи» («законность» и «констатация»), а также «условия поддержания иерархии в скалярной цепи» («однозначность» и «прозрачность»)) можно выделить компоненты второго уровня принципа «скалярная цепь», код «01011», «статус», код «010110000», «регламент», код «010110001», «зависимость», код «010110010», и «единоначалие», код «010110011» (рис. 5).

Информация, представленная на рис. 4 и 5, может быть конкретизирована на примере информации рис. 6, на котором показана последовательность формирования групп принципов, отдельных принципов и их компонентов нескольких линейно упорядоченных уровней. Кроме того, на данном рисунке представлен подход к созданию кодов данных объектов, предназначенных для использования компьютерного обеспечения управленческой деятельности.

	Принципы формирования иерархии в скалярной цепи	
	Законность	Констатация
Условия поддержания иерархии в скалярной цепи	Однозначность	Статус (010110000)
	Зависимость	Регламент (010110001)
	Прозрачность	Единоначалие (010110011)

Рис. 5. Классификация компонентов второго уровня принципа «скалярная цепь», код «01011» [разработано авторами].

Проектирование принципов управления транспортным бизнесом (лицами, исполняющими управленческие решения)

Ранее утверждалось, что следует различать принципы управления организацией или лицами, принимающими решения, код «0», и принципы управления бизнесом или лицами, исполняющими данные решения, код «1».

Термин «бизнес» имеет различное содержание, хотя он однозначно связан с термином «организация» и с объединением организаций. В качестве фактора, предопределяющего количественные параметры и качественные характеристики бизнеса, выберем цепь поставок. Определить группы принципов управления бизнесом можно двумя способами:

1) используя литературные источники, из которых следует, что управление цепями поставок – это ряд интегрированных предприятий [8]; интеграция торговых партнёров [9]; тотальный системный подход к управлению всем потоком [10]; управление восходящими и нисходящими связями [11];

2) используя следующие признаки и варианты признаков управления цепями поставок: «состояние цепи поставок во времени» («статика» и «динамика»), а также «процессы, выполняемые цепью поставок» («переработка ресурсов» и «получение и/или передача ресурсов»). Совместное использование данных признаков и вариантов позволяет повторно подтвердить, что к основным группам принципов управления бизнесом (цепями поставок) относятся: «предприятия», код «100», «процессы», код «101», «отношения», код «110», и «потоки и/или запасы», код «111» (рис. 7).

Группы принципов управления бизнесом (цепями поставок), в свою очередь, нуждаются в конкретизации [12]. Для решения данной задачи целесообразно использовать признаки групп и варианты признаков, представленные на рис. 8.

Данные признаки и варианты позволяют:

1) осуществлять мониторинг внешней и внутренней среды бизнеса (цепи поставок),





Рис. 6. Пример последовательности формирования кодов принципов управления организацией [разработано авторами].

выявляя угрозы и возможности с их стороны, придерживаясь при этом стратегической ориентации при принятии и реализации управленческих решений и устраняя, ранее может быть и необходимые, но потерявшие свою актуальность ограничения, например, в связи с пандемией COVID-19;

2) устранять проблемы управления цепями поставок, обеспечивая тем самым бесперебойность процессов, решая различные задачи как внутри цепей поставок (локальные задачи), так и во внешней среде цепей данного типа (глобальные задачи), типа устойчивости и устойчивого развития;

3) выявлять и поддерживать отношения с поставщиками и потребителями в цепях поставок при создании ценностей для конечных потребителей продукции и/или услуг;

4) повышать эффективность и улучшать результативность цепей поставок за счёт сокращения времени выполнения заказа потребителей, в том числе посредством выявления и предотвращения скрытых угроз.

Используя информацию рис. 8, можно обосновать количество и содержание принципов управления бизнесом (цепями поставок) (рис. 9).

Рис. 9 позволяет сделать следующие выводы:

а) в цепях поставок участвуют предприятия, обладающие особой компетентностью, например технологией, и связанные между собой по направлению потока ресурсов, движению которого не препятствуют естественно или искусственно созданные барьеры, устраняемые исполнителем или их группой на любом рабочем месте или в подразделении предприятия;

Состояние цепи во времени	Динамика (1)	
	Статика (0)	Динамика (1)
Переработка ресурсов (0)	Предприятие (100)	Процессы (101)
Процессы, выполняемые цепью	Отношения (110)	Поток и/или запас (111)
Получение/передача ресурсов (1)		

Рис. 7. Классификация компонентов управления бизнесом (цепями поставок), код «1» [разработано авторами].

б) основой организации любого процесса при создании ценностей конечного потребителя продукции и/или услуг является система вытягивания [pull system], внедрение которой требует системного подхода и устранения как типовых, так и уникальных для предприятия проблем, большинство из которых в цепях поставок предполагает процессную интеграцию и синхронизацию;

в) процессная интеграция и синхронизация необходимы для совместного создания ценностей как её потребителем, так и поставщиками в условиях оптимального сочетания привлекаемых материальных, информационных, финансовых и людских ресурсов, достигаемого посредством глобальной оптимизации с привлечением виртуальных предприятий и заключением с ними экономически целесообразных отношений, в том числе на долгосрочной основе;

г) одной из форм достижения экономических целей в цепях поставок является сокращение упущенной выгоды за счёт устранения возможных барьеров на траектории движения потоков ресурсов, которые при создании уникальных ценностей для конечных потребителей включают единичные изделия в рамках «бережливого производства», основу которого формирует управление запасами.

По аналогии с выводами, касающимися внедрения принципов управления организацией, код «0», принципы управления бизнесом (цепями поставок), код «1», также могут быть адаптированы к специфике должностей и уровням управления предприятиями. Кроме того, данные принципы должны быть согласованы между смежными звеньями цепей поставок или в рамках логистической цепи [12]. В этом случае можно говорить о формировании системы управления логистическими цепями поставок на первом этапе их создания и систем управления цепями поставок, охватывающих как начальных поставщиков ресурсов, так и конечных потребителей продукции и/или услуг, то есть о проблеме, которой исследователи уделяют крайне мало внимания.

ОБСУЖДЕНИЕ

Актуальность принципов управления, распространяющихся на деятельность лиц, принимающих и исполняющих управленческие решения, не вызывает сомнения. В то же время обоснование их количества и качества,

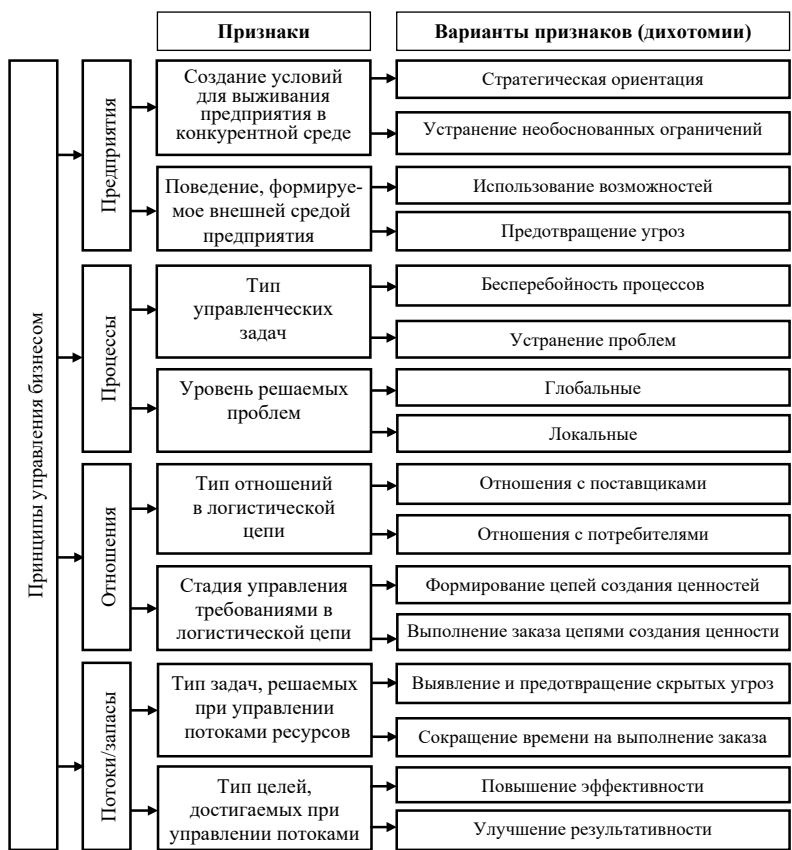


Рис. 8. Иерархия признаков и вариантов, обеспечивающих проектирование принципов управления бизнесом (цепями поставок) [разработано авторами].

создание предпосылок для их структурирования и согласования по вертикали или уровням управления и по горизонтали или по должностям, мониторинг эффективности используемых принципов, их корректировка и проектирование вызывают много вопросов.

Казалось бы, зачем менять подходы к решению данных вопросов? Тем более что уже известны результаты внедрения разработанных принципов управления, обеспечивающих получение нужных предприятиям результатов. Тем не менее, трудно прогнозируемые факторы внешней среды «в ненужном количестве ненужного качества в ненужное время, провоцируя ненужные затраты, воздействуют на множество потребителей, не получающих нужные товары в нужном для них месте». Для преодоления негативных последствий воздействия данных факторов необходимы новые подходы к управлению организациями и бизнесом, в том числе, цепями поставок. Ускоряющиеся темпы перемен вынуждают организации находиться в состоянии непрерывных изменений [13].

Главная проблема при этом заключается в невозможности однозначного измерения объектов управления, поскольку в подавляющем большинстве случаев они описываются качественными характеристиками, которые, как правило, не предполагают разработку шкалы признаков данных объектов и, как следствие, носят субъективный, а порой и авторитарный характер. В данной статье в очередной раз подчёркивается необходимость выделения и ранжирования актуальных и неактуальных признаков объектов управления с помощью компьютерного обеспечения исследовательской деятельности. Никого не удивляет необходимость обоснования ключевых слов любой статьи, позволяющих найти её из множества научных статей на данную тему. Авторы утверждают, что точно так же, но в отношении конкретного объекта исследования, например, цепей поставок, можно выбрать его «ключевые слова» или признаки, актуальные на конкретный момент времени. Если эти признаки будут выявлены и «стан-



Статья управления требованиями в логистической цепи	Поведение, формируемое внешней средой предприятия	Группа принципов (100) «Предприятия»		Группа принципов (101) «Процесс»	
		Создание условий для выживания предприятия в конкурентной среде		Тип задач, решаемых при управлении	
		Стратегическая ориентация (0)		Бесперебойность процессов (0)	
		Устранение необоснованных ограничений (1)		Устранение проблем (1)	
		Использование возможностей (0)	Специализация и кооперация (10000)	Устранение барьеров между подразделениями (10001)	Внедрение систем вытягивания (10100)
			Устойчивость и устойчивое развитие (10010)	Вытеснение страха с предприятия (10011)	Подготовка, не торопясь, внедрение – быстро (10111)
		Предотвращение угроз (1)	Виртуальная интеграция (11000)	Ориентация на ценности потребителей (11001)	Процессная интеграция и синхронизация (10110)
			Глобальная оптимизация (11011)	Совместное создание ценности (11011)	Остановка для установления проблемы (10110)
		Выполнение заказа целями создания ценности (1)	Отношения с поставщиками (0)	Отношения с потребителями (1)	Снижение упущенной выгоды (11100)
			Тип отношений в логистической цепи	Тип задач, решаемых при управлении потоками ресурсов	Управление потоками единичных изделий (11101)
		Группа принципов (110) «Отношения»		Группа принципов (111) «Потоки и/или запасы»	

Локальные (1)

Глобальные (0)

Уровень решаемых проблем

Улучшение результативности

Повышение эффективности

Тип целей, достигаемых при управлении потоками

Рис. 9. Классификация принципов управления бизнесом (цепями поставок) [разработано авторами].

дартизированы», то это во многом облегчит взаимопонимание не только учёных, но и практиков, а также студентов учебных заведений, оперирующих разными признаками данного объекта, не позволяющими максимально эффективно использовать его для достижения порой жизненно важных результатов.

Именно по данному аспекту научных исследований, по мнению авторов, должна начаться дискуссия в журналах, изначально ориентированных на дискуссии различного рода, которые не могут быть плодотворными, пока не будут, хотя бы частично, «измерены» объекты данных дискуссий. Один из подходов к решению проблемы качественного исследования практически любого объекта управления, включая принципы, в очередной раз изложен в данной статье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в данном исследовании результаты носят предварительный характер, предполагающий продолжение исследований не только принципов управления транспортной организацией и бизнесом, но и других компонентов системы управления социально-эколого-экономическими системами, таких как цели, задачи, подходы, методы, функции и др., то есть могут быть применимы в других сферах народного хозяйства. Подобно широко известной системе сбалансированных показателей [14] необходима разработка подсистем сбалансированных компонентов систем управления предприятиями, на основе которой будет в конце концов создана, но уже в новом сбалансированном качестве, система управления цепями ценностей, поставок, требований и новинок, ориентирован-

ная, с одной стороны, на создание ценностей для конечных потребителей продукции и/или услуг, а, с другой стороны, на обеспечение устойчивости и устойчивого развития человеческого сообщества.

Очевидно, что объекты управления системами различного типа постоянно усложняются, меняют свои количественные параметры и качественные характеристики и проявляются в различных комбинациях [15]. Эффективно воздействовать на них невозможно без использования компьютерного обеспечения управленческой деятельности. Поэтому необходимо «объяснить компьютеру», о каких объектах, с какими параметрами и характеристиками идёт речь. Для этого нужно научиться измерять объекты любого типа, используя только им свойственные актуальные признаки в определённом количестве и определённого (близкого к оптимальному) качества. Именно эти признаки должны формировать шкалу измерения данных объектов, понятную для электронно-вычислительной машины, которая не может мириться с недосказанностью, нечёткими формулировками, излишним многообразием и прочими атрибутами, с которыми приходится считаться создателям с более высокой организацией мыслительной деятельности. Сделать шаг вперёд в направлении объективно обоснованной унификации признаков и вариантов объектов управления означает создание предпосылок для формирования команд исполнителей, независимо от их местоположения чётко представляющих структуру объекта исследования и на этой основе предвещающих направления его оптимизации. Тогда вполне возможно, что цели и задачи устойчивости и устойчивого развития будут достигнуты и решены в более короткие, чем предполагается, сроки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сысоенко М. В., Лебедева А. С. Анализ предпосылок инновационной трансформации субъектов рынка транспортных услуг в современных условиях // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 6. – С. 43–55. DOI: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-6-43>.

2. Солодкий А. И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 6. – С. 10–19. EDN: PDUSFR.

3. Абрамкина М. Д., Литовченко В. Б. Цифровизация логистической отрасли // Вестник СамГУПС. – 2023. – № 3 (61). – С. 20–26. EDN: QFAUQM.

4. Collins, R. C., Dent, B., Bonney, L. B. A guide to value-chain analysis and development for Overseas Development Assistance projects. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, ACT, 2015. ISBN 978-1-925436-10-9.

5. Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., Gibson, B. J. Supply Chain Management: A Logistics Perspective. 11th ed., South-Western Cengage Learning, 2020. ISBN 035744213X / 9780357442135.

6. Тарасенко Е. А., Карх Д. А., Тяпухин А. П. Управление логистическими системами: Монография. – М.: Русайнс, 2021. – 156 с. ISBN 9785436579191.

7. Карх Д. А., Аббазова В. Н., Тарасенко Е. А. Методический инструментальный диагностики системы управления цепями поставок в подразделениях железной дороги // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2022. – Т. 16. – № 2. – С. 150–164. DOI: 10.14529/em220215.

8. Tyapukhin, A. P., Matveeva, O. B., Tasmaganbetov, A. B. Distinctive features of the logistics approach to managing information flows. Journal of the Ural State University of Economics, 2019, Vol. 20, Iss. 1, pp. 112–130. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-8.

9. Strauss, A. L., Corbin, J. M. Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques. 1st Edition. Newbury Park: SAGE Publications, 1991, 270 p. [Электронный ресурс]: <https://archive.org/details/basicsofqualitat0000stra>. Доступ 17.06.2023.

10. Wisner, J. D., Tan, K. C., Leong, G. K. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. Cengage Learning, 2014, 576 p. ISBN 9780538475488.

11. Blackhurst, J., Cantor, D., O'Donnell, M. Sustainable Supply Chains: A Guide for Small- to Medium-sized Manufacturers, 2012. [Электронный ресурс]: <https://www.hbs.edu/faculty/conferences/2015-strategy-research/Documents/Sustainable%20Supply%20Chains.pdf>. Доступ 17.06.2023.

12. Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education Limited, 5th ed., Harlow, England, 2016. ISBN 9781292083797.

13. Щербов В. О., Фоменко Н. М. Трансформация процессов управления организацией в современных условиях // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15 – № 1. EDN: CWBAUT.

14. Kaplan, R. S., Norton, D. P. The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance. Harvard Business Review, Jan. – Feb. 1992, pp. 71–79. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2>. Доступ 17.06.2023.

15. Лисецкий Ю. М. Система управления предприятием // Программные продукты и системы. – 2018. – № 31 (2). – С. 246–252. EDN: UYSUAL.

Информация об авторах:

Тарасенко Евгения Алексеевна – кандидат экономических наук, научный сотрудник Оренбургского филиала Уральского отделения Российской академии наук; доцент кафедры логистики и транспортных технологий Оренбургского института путей сообщения – филиала СамГУПС, Оренбург, Россия, t_e_a_t@mail.ru.

Тяпухин Алексей Петрович – доктор экономических наук, кандидат экономических наук, профессор, директор, ведущий научный сотрудник Оренбургского филиала Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, artypuhin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.06.2023, одобрена после рецензирования 27.09.2023, принята к публикации 02.10.2023.



ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.02

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-2>

Перспективные направления исследований для выработки единых подходов к оценке качества, надежности и эффективности организации дорожного движения



Роман ГОРБУНОВ



Зинаида ГОРБУНОВА



Василий КОЛЧИН

Роман Николаевич Горбунов ¹, Зинаида Васильевна Горбунова ², Василий Савельевич Колчин ³

^{1, 2, 3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.

✉ ² flocean@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся предложения по повышению эффективности организации дорожного движения с использованием геоинформационных данных. Целью проведения исследований является определение перспективных направлений исследования для выработки единых подходов к оценке качества, надежности и эффективности организации дорожного движения по соответствующим критериям.

Авторами был проведен обзор данных критериев с точки зрения нормативной документации, а также отмечена возможность применения моделей городских улично-дорожных сетей для поиска оптимальных режимов организации дорожного движения с минимальными затратами. Поскольку ранее проведенные исследования показали отсутствие единых подходов и четких критериев оптимизации организации дорожного движения, было предложено всесторонне рассмотреть возможность оценки дорожного движения не только с технической точки зрения, но и с точки зрения подходов, применяемых в теории менеджмента.

В качестве оценки показателей эффективности организации дорожного движения была предложена функция временных затрат, представляющая собой сумму всех временных затрат

участников дорожного движения. Повышение эффективности организации дорожного движения достигается минимизацией данной функции. Отмечается, что при снижении функции временных затрат снижаются материальные затраты участников дорожного движения, например расходы на топливо.

Рассмотрев принципы функционирования дорожного движения в других странах, авторы определили два подхода к организации дорожного движения на улично-дорожной сети: механистический и органический. Механистический предполагает строгое соблюдение правил всеми участниками дорожного движения, органический же предполагает возможность отступать от правил. Авторами были представлены примеры самоорганизации дорожного движения на участках улично-дорожной сети города Иркутска, что является примером применения органического подхода к организации дорожного движения в России.

Итогом статьи стала выработка ряда перспективных направлений исследований, благодаря которым может быть достигнуто единообразие подходов к выбору и формированию требований к показателям надежности, качества и эффективности организации дорожного движения.

Ключевые слова: транспорт, улично-дорожная сеть, организация дорожного движения, геоинформационные системы, надежность, качество, эффективность.

Для цитирования: Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С. Перспективные направления исследований для выработки единых подходов оценки качества, надежности и эффективности организации дорожного движения // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-2>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня автомобилизации представляет собой серьёзный вызов для существующей улично-дорожной сети (далее УДС). Ежедневно во многих городах возникают заторы на дорогах, особенно часто они возникают в утренние и вечерние часы пик. Изучением процессов возникновения и оценки заторов долгое время занимались многие учёные [1–11], тем не менее организация дорожного движения на таких УДС в случае применения устаревших подходов остаётся проблематичной.

Современные программные решения, позволяющие моделировать транспортные потоки на городских УДС в совокупности с имеющимися цифровыми картами геоинформационных систем (далее ГИС), могут позволить оптимизировать процесс повышения эффективности организации дорожного движения (далее ОДД) в городах.

Для организации подобной работы достаточно однократного переноса имеющихся цифровых карт ГИС в программу моделирования дорожного движения. Далее необходимо выполнить следующий алгоритм действий:

- внести информацию о режимах работы светофорных объектов и прочую информацию о параметрах и режимах работы УДС;
- провести сбор данных о существующих интенсивностях движения на УДС;
- осуществить доработку (подстройку) модели под реальные условия, то есть корректировку ошибок, которые могли возникнуть при переносе данных.

Свод всей информации в одной модели позволит смоделировать работу УДС города в различные периоды суток, а это, в свою очередь, даст возможность оптимизировать работу УДС, подобрать оптимальные режимы работы светофорных объектов, выработать рекомендации по изменению схем движения.

Любые изменения в схему ОДД, запланированные органами местного самоуправления, могут быть оценены еще на этапе планирования.

Реализация подобного подхода возможна на государственном уровне путем создания единого центра ОДД, который проводил бы подобные работы для всех населённых пунктов страны. Создание подобных центров в каждом городе или регионе нецелесообразно, поскольку для работы таких центров

нужны высококлассные специалисты, а услуги такого центра требуются в городах не постоянно, то есть обеспечение многих городов может осуществлять один центр.

Однако, для того чтобы можно было оптимизировать работу ОДД, необходимо определить критерии оценки её работы, выбрать критерии оптимизации.

В целом, критерии, по которым оценивается УДС, можно разделить на три группы:

- критерии надёжности;
- критерии качества;
- критерии эффективности.

Таким образом, целью проведения исследований является определение перспективных направлений для выработки единых подходов к оценке качества, надёжности и эффективности организации дорожного движения по соответствующим критериям.

Каждая из групп критериев является самостоятельной и позволяет оценивать УДС с разных сторон, тем не менее в результате дальнейших исследований могут быть установлены и интегральные критерии оценки УДС, при этом учитывающие указанные параметры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Поскольку УДС является техническим объектом, то на неё распространяется ГОСТ Р 27.102-2021 «Надёжность в технике»^{1, 2}, в котором под надёжностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

В соответствии с данным ГОСТом надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя:

- безотказность: свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние

¹ ГОСТ Р 27.102-2021. Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200181141>. Доступ 23.06.2023.

² Разработан с учётом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60050-192:2015* «Международный электротехнический словарь. Часть 192. Надёжность». – прим. ред.



в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения;

- долговечность: свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

- ремонтпригодность: свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособности объекта путем технического обслуживания и ремонта;

- сохраняемость: свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Под качеством, согласно ГОСТ Р ИСО 9000^{3, 4}, понимается степень соответствия присущих характеристик требованиям. Термин «качество» имеет более широкую трактовку и может включать не только технические требования, но и требования пользователей к функционированию УДС. Показатели эффективности, представляемой как отношение полученного результата к понесённым затратам, лучше всего оценивать через **временные** и **денежные** (материальные) затраты [12].

В связи с тем, что главная задача УДС – это предоставление возможности перемещаться автомобилям, то результатом является прибытие автомобиля в пункт назначения. Таким образом, результат является константой, в то время как затраты времени и материальные затраты могут меняться. В случае, если речь идёт о функционировании УДС, то всё сводится к оптимизации функции $F(t) = \sum t_i$, где t_i – время, затраченное на передвижение участниками дорожного движения. Логично предположить, что в случае оптимизации функции, также могут быть оптимизированы материальные затраты, понесённые участниками дорожного движения, например, такие, как затраты на топливо и износ автомобиля. Кроме того, снижение продолжительности передвижения повышает производительность

работы организаций, связанных с пассажирскими и грузовыми перевозками.

Некоторые подходы к оценке эффективности за счет **временных** затрат, которые несут участники дорожного движения в денежной форме, были представлены ранее в [12].

При этом стоит понимать, что функция $F(t)$ стремится к некоему пределу в связи с существующими ограничениями скорости движения, наличием вероятности потери времени при проезде перекрестков, пешеходных переходов, искусственных неровностей и светофорных объектов и прочих факторов. Кроме того, увеличение числа полос для движения не всегда возможно, а при наличии такой возможности многократное увеличение может быть нецелесообразно.

Увеличение числа полос за счет расширения проезжей части, строительство путей обхода или внесение иных изменений в конфигурацию УДС требует вложений средств, объём которых ограничен. В связи с этим необходимо определиться с оценкой параметров времени для возможности их сравнения с финансовыми затратами на реконструкцию проезжей части.

Это во многом затрагивает моральные аспекты в части оценки стоимости времени жизни человека, однако такое сравнение необходимо для выбора наиболее эффективного варианта оптимизации (модернизации) работы УДС.

В наиболее простом варианте при выборе возможных альтернатив расходования средств возможно прямое сравнение уменьшения **временных** затрат ($\Delta F(t)$) со стоимостью различных имеющихся вариантов реконструкции УДС. В таком случае может быть выбран вариант или варианты с наиболее высокой удельной экономией времени.

Кроме того, в случае реализации подхода по созданию единого центра ОДД на всех УДС в первую очередь должны быть проведены мероприятия по оценке эффективности работы светофорных объектов и предложены варианты её оптимизации, поскольку перестройка светофорных объектов требует минимального объёма вложений.

Как было указано ранее, помимо **временных** потерь, следует также оценивать материальные потери.

После определения критериев оценки необходимо также решить вопрос со сбором данных о параметрах движения. Как было

³ ГОСТ Р ИСО 9000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Электронный ресурс]: <https://rustestm.ru/wp-content/uploads/2021/10/gost-r-iso-9000-2015-sistemy-menedzhmenta-kachestva-osnovnye-polozeniya-i-slovar.pdf>. Доступ 23.06.2023.

⁴ Идентичен международному стандарту ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» (ISO 9000:2015 «Quality management systems – Fundamentals and vocabulary», IDT). – прим.ред.

отмечено в предыдущих исследованиях [13], сбор данных может осуществляться как с применением единичных источников ГИС-данных, таких как автомобили-лаборатории, так и с применением массовых источников ГИС-данных. Сбор ГИС-данных может производиться с применением ранее предложенной методики [14]. Эффективность применения тех или иных источников данных для каждого из применяемых показателей также должна быть оценена.

Теория менеджмента предполагает два подхода к созданию управленческих структур: механистический и органический [15]. Организация дорожного движения на городских улично-дорожных сетях реализуется в той или иной степени с применением данных подходов. При первом подходе предполагается полное соблюдение правил дорожного движения (далее ПДД) участниками дорожного движения. Такой подход хорош тем, что участникам дорожного движения заранее известно поведение других участников. Создание потенциальных аварийных ситуаций маловероятно. Однако такой подход требует большого объема работы по ОДД как с точки зрения создания дорожной инфраструктуры, например, установки дополнительных, дублирующих знаков, светофорных объектов и прочих мероприятий, так и с точки зрения контроля за нарушениями. Понимание участниками дорожного движения неотвратимости наказания и того, что нарушение правил снизит качество передвижения их самих и других участников, а также крайне низкое количество случаев, в которых водители могли бы двояко трактовать ситуацию на дороге, приводит к тому, что понимание необходимости строго следовать ПДД формируется на институциональном уровне и является интуитивным. Такой подход, по нашему мнению, встречается в европейских странах, например, в Германии.

Органический же подход предполагает наличие некоторых негласных правил (понятий), сложившихся у участников дорожного движения в принципе или при езде на некоторых участках УДС. ПДД в таком случае необходимы лишь для придания общей концепции дорожного движения и определения виновника в случае ДТП.

При органическом подходе главным критерием движения является разумность поведения и минимизация функции затрат. То есть

в случае, если можно нарушить ПДД без последствий или с минимальным риском получить штраф, то они будут нарушены, если это приведет к «выигрышу» участника дорожного движения. Описание поведения участников дорожного движения может быть осуществлено с применением теоретико-игровых подходов.

Например, при органическом подходе резкое перестроение перед другим автомобилем считается нормой, поскольку участники дорожного движения осознают, что все участники дорожного движения не заинтересованы в ДТП, поскольку будет затрачено много времени на его оформление, для невиновного участника ДТП возникнут дополнительные транзакционные издержки, связанные с получением возмещения от страховой компании, или через суд, в случае, если ответственность виновника ДТП не была застрахована. Также автомобиль после ДТП, как правило, продаётся с дисконтом по отношению к «небитому». Кроме того, водитель автомобиля, в чей ряд перестраивается нарушитель может быть определен как виновник ДТП в случае, если столкновение произойдет не бортами, а с задней частью автомобиля нарушителя, и если при отсутствии иных объективных данных (видеорегистраторы, камеры наблюдения, свидетельские показания и т. п.) виновник ДТП будет настаивать на том, что маневра «перестроения» не было, а водитель второго автомобиля не соблюдал дистанцию. Таким образом, как правило, ДТП не выгодно никому из его потенциальных участников, и зачастую водителю проще уступить дорогу нарушителю, нежели нести временные и материальные расходы.

При органическом подходе участники движения (органы государственного управления) зачастую неосознанно пользуются подходом уменьшения функции затрат времени $F(t) = \sum ti$, связанной со всеми участниками дорожного движения, то есть система приходит в равновесие. Наличие возможности существования равновесия в подобных системах было доказано ранее [16].

Таким образом, на институциональном уровне формируется основной приоритет для участников дорожного движения, заключающийся в том, чтобы не столкнуться с автомобилями других участников. Сочетание механистического и органического подходов требует меньший объем контроля со стороны





Рис. 1. Схема двухуровневой развязки на улице Лермонтова (г. Иркутск) [изображение с сайта 2ГИС <https://2gis.ru/irkutsk>].

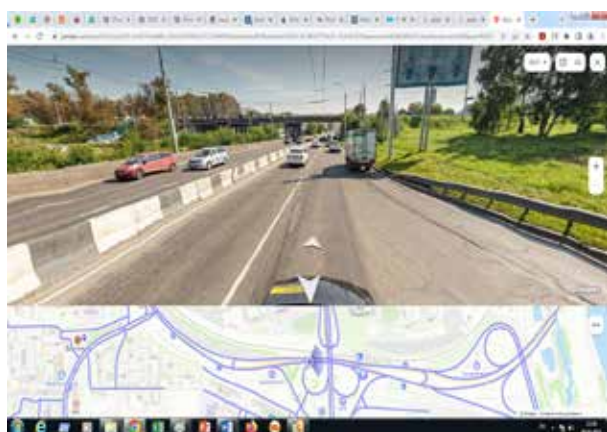


Рис. 2. Выезд с двухуровневой развязки на улице Лермонтова (г. Иркутск) [изображение с сайта Яндекс.Карты <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk/>].

государства и меньший объем вложений в дорожную инфраструктуру, поскольку на некоторых участках УДС осуществляется самоорганизация системы дорожного движения. Такой подход находит своё применение в некоторых странах Азии.

Однако в отдельных случаях подобный подход, по нашему мнению, применяется и в России.

Например, в городе Иркутске в часы пик выезд с двухуровневой развязки на улице Лермонтова (рис. 1, 2) по правилам дорожного движения невозможен в связи с высокой интенсивностью движения по объездной дороге, аналогичная ситуация возникает при проезде участка УДС ул. Горная – ул. К. Либкнехта – ул. И. Уткина (рис. 3, 4).

В часы пик для возможности выезда со второстепенной дороги в соответствии с ПДД в данных примерах необходима установка светофорных объектов. Тем не менее, в связи

с пониманием того, что, несмотря на приоритетность движения необходимо уступить дорогу автомобилям, движущимся по второстепенной дороге, в целях избежания колоссальных заторов на прилегающих улицах, участниками движения применяется органический подход. Периодически уступая дорогу автомобилям, не имеющим приоритет, происходит саморегуляция движения и снижение общественной функции временных затрат $F(t) = \sum t_i$. В случае полного соблюдения ПДД в часы пик происходил бы затор, протяжённость которого превышала бы длину перегона, то есть затор ограничивал бы движение на других перекрестках.

Минусом механистического подхода является тот факт, что в случае нарушения систем организации дорожного движения, например, нарушения работы светофорного объекта, отсутствия знака или некорректной разметки участники дорожного движения или



Рис. 3. Схема проезда ул. Горная – ул. К. Либкнехта – ул. И. Уткина (г. Иркутск) [изображение с сайта 2ГИС <https://2gis.ru/irkutsk>].



Рис. 4. Выезд с ул. Горная на ул. К. Либкнехта (г. Иркутск) [изображение с сайта Яндекс.Карты <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk>].

не смогут продолжать движения, или условия дорожного движения будут существенно ухудшены. Кроме того, не все ситуации прописаны в ПДД, и не на всех участках УДС, особенно в старой городской застройке, возможно их применение. Минусом же органического подхода является то, что отсутствие четко прописанных требований может приводить к тому, что у участников дорожного движения могут быть разные приоритеты и соответственно может возникнуть недопонимание происходящих событий.

В целом же, рассматривая оба подхода, можно отметить, что в обоих подходах имеются плюсы и минусы и для оптимальной организации дорожного движения может применяться сочетание обоих подходов для достижения надежного, качественного и эффективного функционирования УДС.

ВЫВОДЫ

Выбор регулирующих воздействий при механистическом и органическом подходе

является важным условием надёжной, качественной и эффективной ОДД. Для корректного выбора управляющих воздействий необходимо определить критерии оценки ОДД. Такая оценка может проводиться по показателям надёжности, качества и эффективности функционирования УДС.

В нормативной документации и научной литературе есть различные подходы к определению параметров дорожного движения, однако, отсутствуют чётко проработанная методология и единообразие подходов к выбору и формированию требований к показателям надёжности, качества и эффективности ОДД. Таким образом, проведённые исследования показали, что следующие направления исследований являются перспективными:

1. Классификация показателей и выбор наиболее значимых показателей надёжности, качества и эффективности для оценки ОДД.

2. Научное обоснование применимости выбранных показателей в зависимости от параметров улично-дорожной сети, а также



оценка возможности применения интегральных критериев оценки ОДД.

3. Научно-обоснованное нормирование этих показателей в зависимости от протяженности УДС и иных параметров.

4. Научное обоснование выбора источника данных о параметрах функционирования УДС, оценка периодичности сбора данных для расчёта каждого из показателей.

5. Разработка научно-обоснованных подходов для моделирования транспортных потоков при мониторинге дорожного движения и научное обоснование требований к таким моделям.

6. Разработка научно-обоснованных методов экономической оценки потерь, вызываемых заторами, в зависимости от параметров функционирования УДС.

Проведение исследований в указанных направлениях позволит повысить теоретические знания в данной области и существенно повысить эффективность проводимого мониторинга дорожного движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Блинкин М. Я., Ткаченко Б. А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: науч. мат. XV международной научно-практической конф. (Екатеринбург, 16–17 июня 2009 г.). – Екатеринбург: Изд-во АБМ, 2009. – С. 135–143. [Электронный ресурс]: <https://www.waksman.ru/Russian/Konference/2009/III/bli1.htm>. Доступ 23.06.2023.

2. Власов В. М., Богумил В. Н. Методика оценки показателей «уровней обслуживания движения», адаптированных к городским условиям // Вестник МАДИ. – 2015. – № 4 (43). – С. 69–78. EDN: UYSEDP.

3. Головных И. М., Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов: Монография. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с. ISBN 5-02-032091-9.

4. Захаров Н. С., Бояркина Е. Ф. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города: Монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 160 с. ISBN 978-5-9961-0468-0.

5. Левашев А. Г., Шаров М. И. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 7. – С. 174–178. [Электронный ресурс]: <https://journals.istu.edu/>

vestnik_irtgu/journals/2015/07/articles/23. Доступ 23.06.2023.

6. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. – Иркутск, 2015. – 218 с. Деп. в ВИНТИ РАН 31.03.2015, № 64-B2015. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24879838>. Доступ 23.06.2023.

7. Румянцев Е. А., Михайлов А. Ю. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Организация безопасности дорожного движения в крупных городах: сб. докл. IX междунар. конф. (Санкт-Петербург, сент. 2010 г.). – Санкт-Петербург. – С. 121–123.

8. Тебенёв С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: автореф. дисс. канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГТУ, 2013. – 20 с.

9. A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion and Enhancing Mobility. Institute of Transportation Engineers, Publication IR-054B, 1997, 119 p. [Электронный ресурс]: <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/17000/17800/17841/PB2001104711.pdf>. Доступ 23.06.2023.

10. Herman, R., Ardekani, S. A. Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas. Transportation Science, 1984, Vol. 18 (2), pp. 101–140. DOI: 10.1287/trsc.18.2.101.

11. Herman, R., Prigogine, I. A Two-Fluid Approach to Town Traffic. Science, 1979, Vol. 204, Iss. 4389, pp. 148–151. DOI: 10.1126/science.204.4389.148.

12. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Горбунова Л. Н., Карлина А. И., Колчин В. С. Теоретические подходы к экономической оценке затрат участников дорожного движения в связи со снижением скорости сообщения // Авиационное строительство и транспорт Сибири: сб. статей XIV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 21–26 сентября 2020 г.). – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2020. – С. 150–156. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46534098>. Доступ 23.06.2023.

13. Горбунов Р. Н. Повышение эффективности мониторинга дорожного движения на основе временного и буферного индексов за счет использования геоинформационных данных // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2 (79). – С. 173–180. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-173-180.

14. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С. Методика оценки качества обслуживания в рамках улично-дорожной сети на базе временного и буферного индексов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 80–86. EDN: RRXLWC. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-80.

15. Алмазова А. Э., Семенова Н. К. Сравнительный анализ механистических и органических систем предприятий и организаций // Молодой ученый. – 2016. – № 14 (118). – С. 307–310. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389090>. Доступ 23.06.2023.

16. Горбунов Р. Н. Оценка уровня обслуживания на основе временного индекса // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 5 (76). – С. 189–196. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-16-5-189-196.

Информация об авторах:

Горбунов Роман Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, gorbunow@istu.ru.

Горбунова Зинаида Васильевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, flocean@mail.ru.

Колчин Василий Савельевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия, kolchin@ex.istu.edu.

Статья поступила в редакцию 15.06.2023, одобрена после рецензирования 12.12.2023, принята к публикации 15.12.2023.



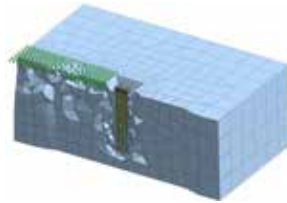
БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ 24

Принципиальные возможности и результаты лабораторных исследований, связанные с созданием локального устойчивого песчаного пляжа для защиты транспортных сооружений от волнового воздействия.



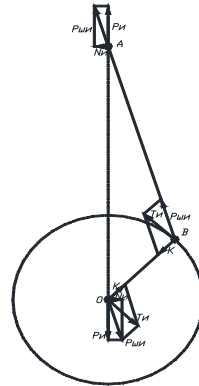
ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ 34

Подводное плавающее транспортное сооружение: исследования и расчёты, направленные на оптимизацию конструкции для решения проблемы перегрузок его элементов.



МОСТОСТРОЕНИЕ 46

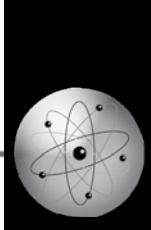
Оценка влияния строительства армогрунтовых подпорных стен на фундаменты устоев.



СУДОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ 53

Крутильные колебания и опрокидывающий момент: исследование взаимосвязей.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.122

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>

Защита транспортных сооружений от волнового воздействия путём создания песчаного волногасящего пляжа



Галина ТЛЯВЛИНА



Роман ТЛЯВЛИН



Нестифор ЯРОСЛАВЦЕВ

Галина Вячеславовна Тлявлиная¹, Роман Маратович Тлявлин², Нестифор Аксентьевич Ярославцев³

^{1, 2, 3} Научно-исследовательский центр «Морские берега», обособленное подразделение Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства, Сочи, Россия.

✉ ¹ TlyavlinaGV@Tsniis.com.

¹ ORCID 0000-0003-4083-9014, Scopus ID: 57215131371, SPIN-код: 5516-9241, Author ID: 604630.

² ORCID 0000-0002-8648-0492, SPIN-код: 3365-3637, Author ID: 123325.

АННОТАЦИЯ

Проектирование и эксплуатация транспортных сооружений (железных и автомобильных дорог, мостовых переходов), расположенных на берегах морей в зоне возможных разрывов волнами, требует особо тщательной проработки берегозащитных мероприятий.

В настоящей статье на примере конкретного участка Самбийского полуострова в Калининградской области от мыса Таран до мыса Гвардейский показана проблема защиты от волнового воздействия автодороги, пролегающей по побережью, и предложены пути её решения. Представлены результаты лабораторных исследований по созданию

волногасящего песчаного пляжа на берегах в условиях дефицита материала во вдольбереговом потоке наносов. Исследования выполнены с применением метода физического моделирования в волновом бассейне.

Доказана принципиальная возможность создания локального устойчивого песчаного пляжа для защиты транспортных сооружений от волнового воздействия в условиях дефицита материала во вдольбереговом потоке наносов.

Результаты исследований можно распространить и на другие прижимные участки автомобильных, а также железных дорог.

Ключевые слова: автодорога, берегозащита, волногасящие сооружения, железная дорога, литодинамические процессы, опора моста, песчаный пляж, размыв, физическое моделирование.

Для цитирования: Тлявлиная Г. В., Тлявлин Р. М., Ярославцев Н. А. Защита транспортных сооружений от волнового воздействия путём создания песчаного волногасящего пляжа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 24–33. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Защита транспортных сооружений (автомобильных и железных дорог, опор мостов и др.), расположенных на берегах морей, от волнового воздействия всегда представляла собой непростую задачу [1]. Особенно сложным является укрепление берегов с песчаными наносами, когда интенсивность и направленность литодинамических процессов в береговой зоне моря не всегда можно однозначно и достоверно оценить с точностью, требуемой для разработки проектных мероприятий по инженерной защите [2].

Одним из ярких примеров железной дороги, проложенной вдоль берегов с песчаными наносами, является Тихоокеанский участок Дальневосточной железной дороги Корсаков – Ноглики, где на некоторых участках земляное полотно и устои мостов уже подвергаются воздействию волн. На рис. 1 видно, что песчаный пляж практически полностью размыт и устои моста через реку Гарь (263-й км участка Корсаков – Ноглики Дальневосточной железной дороги) находятся под угрозой размыва штормовыми волнами.

На другом участке (272–273-й км) перед земляным полотном железной дороги лежит узкая полоса пляжа (рис. 2). Здесь пляж рассматривается как берегозащитное сооружение, и его ширина должна быть достаточной для гашения энергии волн при расчётном приливном уровне моря. На рассматриваемом участке берега ширина существующего пляжа недостаточна для предохранения от размыва волнами земляного полотна. Для защиты

берега от размыва волнами и обеспечения бесперебойной работы железнодорожного транспорта в течение продолжительного времени осуществлялись берегозащитные мероприятия. В настоящее время береговой откос почти на всём протяжении рассматриваемого участка берега прикрыт камнем разной крупности.

При покрытии берегового откоса использовался в основном крупный камень. Однако под верхним слоем крупного камня, уложенного в один ряд, отсыпался камень более мелкой фракции. Во время воздействия волн на откос при нарушении верхнего слоя из наброски камня происходило вымывание мелких фракций, что привело к деформации покрытия из камня, защищающего земляное полотно железной дороги (рис. 3). Покрытие откоса земляного полотна камнем разной крупности при отсутствии перед ним волногасящего пляжа не смогло в полной мере обеспечить необходимую его защиту от размыва волнами.

В настоящей работе, на примере Самбийского полуострова (Калининградская область), приведены результаты исследования песчаных пляжей, обеспечивающих стабильность берега и безопасность транспортных магистралей.

Проблема размыва берегов данного района и расположенных вдоль них автодорог актуальна уже несколько десятилетий [3, 4]. Попытки её решения, в основном, не являются успешными. А, между тем, автодороги, подвергаемые угрозе размыва, имеют очень



Рис. 1. Подмыв устоев моста на 263-м км участка Корсаков – Ноглики Дальневосточной железной дороги. 2020 год [фото авторов].



Рис. 2. Узкая полоса пляжа на 272–273-м км участка Корсаков – Ноглики Дальневосточной железной дороги. 2020 год [фото авторов].



Рис. 3. Подмыв основания откоса земляного полотна на 273-м км участка Корсаков – Ноглики. 2020 год [фото авторов].

большое значение для всего региона. Так, например, дорога, проложенная по Куршской косе, – единственная, связывающая Национальный парк с г. Зеленоградском. Так как для качественного решения проблемы размыва берегов в данном регионе преимущественное значение имеет точная оценка протекающих литодинамических процессов на подводном склоне, их изучению уделяется большое внимание.

Северная береговая зона Самбийского полуострова от мыса Таран на всем протяжении длительное время подвержена абразии. Построенные в начале прошлого столетия берегозащитные и пляжеудерживающие сооружения уже к 1971 году оказались разрушенными или основательно деформированными [5], а возведённые позднее пляжеудерживающие сооружения – малоэффективными.

Размыв пляжей продолжается, а берег отступает [6].

Одностороннее перемещение песчаного материала вдоль берегов Самбийского полуострова (вдольбереговой поток наносов) и его влияние на темпы отступления берега были установлены ещё в первой половине XX века. Было показано, что в пределах западного побережья полуострова генеральное перемещение наносов направлено на юг – в сторону Вислинской косы, а в пределах северного – на восток, в сторону Куршской косы.

Исследования литодинамических процессов в береговой зоне юго-восточной Балтики в 60-х годах прошлого столетия подтвердили существование вдольберегового перемещения песчаных наносов. Была предложена концепция единого вдольберегового потока песчаных наносов, направленного от мыса Таран

до входа в Рижский залив [7]. Вместе с тем эти исследования показали дефицит песчаных наносов в пределах Самбийского полуострова до корня Куршской косы, а, следовательно, и дефицит песка во вдольбереговом потоке наносов.

Концепция единого вдольберегового потока песчаного материала в практическом плане выливалась в строительство пляжеудерживающих сооружений, которые задерживали часть материала из потока наносов, обуславливая локальное расширение пляжной полосы и снижение скорости размыва берега, но, не прекращая его полностью. Изъятие материала из вдольберегового потока наносов системой бун увеличивало дефицит наносов в потоке и интенсивность размыва низового участка берега.

В настоящее время представление о едином вдольбереговом потоке наносов юго-восточной Балтики рядом исследователей считается устаревшим, и предложена концепция относительно обособленных морфо-литодинамических ячеек разного масштаба [8], согласно которой вдоль берега чередуются участки расходящихся потоков наносов, в ячейках меньшего масштаба формируются встречные потоки, сходящиеся в вершинах береговых дуг. Существование морфо-литодинамических ячеек подтверждается результатами математического моделирования транспорта песка, генерируемого ветровым волнением в береговой зоне.

В пределах рассматриваемого берега от м. Таран до м. Гвардейский расположены два участка конвергенции – от мыса Таран до Светлогорска и участок дивергенции потоков в Пионерской бухте [9]. Рекомендаций по использованию выделенных морфо-литодинамических ячеек для решения практических задач берегозащиты пока не разработано.

Из вышеизложенного следует, что ряд вопросов, связанных с перемещением наносов вдоль юго-восточной Балтики, остаётся открытым несмотря на непрекращающиеся исследования [10–16], а применяемые методы берегозащиты малоэффективны [17].

Поэтому необходимы дальнейшие исследования литодинамических процессов в береговой зоне Калининградской области, а поиск рационального способа защиты размываемых берегов и транспортных сооружений, расположенных на них, является одной

из важных практических задач.

ЦЕЛЬ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе исследования устойчивости песчаного пляжа в комплексе с волногасящими и пляжеудерживающими сооружениями выполнены методом физического моделирования в волновом бассейне.

Рассмотрена береговая зона северного побережья Калининградской области от мыса Таран до Куршской косы включительно.

Цель исследования – определить на физической модели комплекс мер, обеспечивающих устойчивость (стабильность) создаваемого песчаного пляжа на абразионном участке берега с дефицитом наносов во вдольбереговом потоке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

История вопроса

В 1976 году Черноморским отделением ЦНИИС был разработан инженерный метод расчёта образования искусственных свободных пляжей и подготовлены рекомендации по их применению на Калининградском побережье Балтики [18]. На возможность создания песчаного пляжа без пляжеудерживающих сооружений указывала впечатляющая разница в динамике западного берега Самбийского полуострова в зоне сброса песчаной пульпы Янтарного комбината и северного берега полуострова, поток наносов вдоль которого пополнялся, в основном, материалом размыва берега. Северный берег полуострова в течение 1960–1970 гг. повсеместно отступал, местами до 0,5 м в год, а западный от места сброса пульпы до г. Балтийск на протяжении 33 км был аккумулятивным. Объем песка, отложившийся на этом участке, к 1974 году составил около 30 000 м³, а в зоне слива пульпы сформировался обширный аккумулятивный выступ. Возникла привлекательная идея создания полнопрофильного песчаного пляжа без пляжеудерживающих и волногасящих сооружений, обеспечивающего полное гашение штормовых волн и устойчивость берегового склона. Для этого надо было отсыпать (рефулировать) необходимый объём песчаного материала, из которого сформируется профиль динамического равновесия, и таким образом берег будет прикрыт от воздействия волн.

На северном побережье Самбийского полуострова преобладает абразия. Скорость



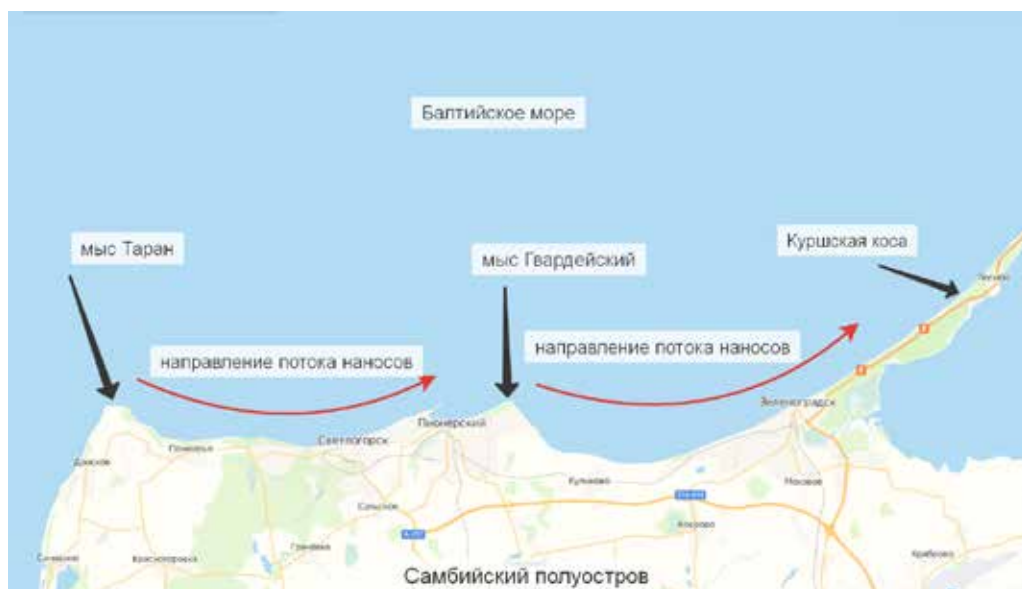


Рис. 4. Северное побережье Самбийского полуострова [разработано авторами].

отступания бровки берега в 1976 году на отдельных участках оценивалась от 0,1 до 0,5 м в год и примерно такой же остаётся в настоящее время. Следует отметить, что до начала сброса вскрышных пород Янтарного комбината западный берег Самбийского полуострова отступал примерно с такой же скоростью, как и северный [6].

Расчёт профиля динамического равновесия на участке м. Таран – м. Купальный был выполнен при параметрах волн 4 % обеспеченности в режиме и 50 % обеспеченности в системе по линии первого обрушения: высота волн $h = 4,4$ м, период $T = 9,5$ с и средней крупности песка $d_{50} = 0,15$ мм. Обрушение расчётной волны в таких условиях происходит на глубине $H_{кр} = 7,6$ м на расстоянии 600 м от берега.

Сопоставление фактических профилей подводного склона в шестисотметровой полосе рассматриваемого побережья с расчётным профилем динамического равновесия показало, что на всем протяжении натурные профили расположены ниже расчётного, свидетельствуя о дефиците песчаного материала в прибрежной полосе. Суммарный дефицит песка только на участке м. Таран – м. Купальный протяжённостью около 25 км составил 17,3 млн m^3 .

На значительной площади дна прибрежной полосы на поверхности залегает валунно-глыбовый материал, образующий окаймляющую Самбийский полуостров каменную от-

мостку шириной от 250 м до 5 км. У мысов Таран, Купальный и Гвардейский отмостка примыкает непосредственно к берегу, и пляжная полоса полностью размыта. Только в вершинах бухт сохранились пляжи шириной до 30–50 м из мелкого и среднезернистого песка, а на подводном склоне располагается пласт песчаного материала над каменной отмосткой. Широкое распространение каменной отмостки, прикрывающей донные отложения в прибрежной полосе, послужило основанием для заключения о том, что вдольбереговой поток наносов на участке от мыса Таран до мыса Гвардейский формируется, в основном, за счет размыва берегового склона, а доля материала от размыва дна незначительна (рис. 4). При этом предполагалось, что весь материал от размыва берега и дна уходит во вдольбереговом потоке и не участвует в формировании профиля подводного склона абразионных участков берега.

Каменная отмостка дна вдоль северного побережья Самбийского полуострова обуславливает формирование вдольберегового потока с большим дефицитом наносов. Вдольбереговой поток без дефицита наносов может сформироваться только на профиле динамического равновесия. Расчёт ёмкости вдольберегового потока, то есть транспортирующей способности волн и возбуждаемых ими вдольбереговых течений, мелкозернистого песка средним диаметром 0,15 мм у северного берега Самбийского полуострова показал,

что он изменяется от 240 тыс. до 520 тыс. м³ в год в зависимости от направления (азимута) береговой линии. Фактический вдольбереговой поток наносов на подходе к мысу Купальному оценивался в 200 тыс. м³ в год и, следовательно, дефицит наносов во вдольбереговом потоке составлял на отдельных участках берега от 280 тыс. м³ до 320 тыс. м³ в год.

Объёмы дефицита песчаного материала на северном побережье Самбийского полуострова и одновременно дефицита песка во вдольбереговом потоке показали всю масштабность решения задачи создания волногасящего песчаного пляжа без пляжеудерживающих сооружений, но представлялось, что технически эта задача может быть решена. Необходимо только найти соответствующие запасы песка и отсыпать (рефулировать) его на берег в зону зарождения (формирования) вдольберегового потока наносов. Был предложен и вариант решения этой проблемы путем переброски пульпы Янтарного комбината на северный берег Самбийского полуострова, но это предложение не получило поддержки, а сброс пульпы на западный берег полуострова был прекращён в 2000 году.

Идея создания волногасящего песчаного пляжа без пляжеудерживающих сооружений была реализована СНПО «Балтбергозащита». В течение 1987–1991 годов из материала срезки высокого аварийного берега на участке Филино – Приморье в объёме 2,3 млн м³ песка на протяжении 1,1 км был намыт пляж максимальной шириной 140 м [6]. Техногенный пляж был создан в зоне минимальной ёмкости вдольберегового потока наносов 240 тыс. м³ в год в пределах рассматриваемого участка северного побережья Самбийского полуострова и, следовательно, минимального дефицита наносов во вдольбереговом потоке. Однако устойчивость намытого пляжа оказалась невысокой, а скорость размыва значительно выше ожидаемой [18]. Через восемь лет после окончания намыва пляж был почти полностью размыт. При этом не было выявлено заметных приращений пляжа на нижележащих участках по ходу потока наносов, а, следовательно, материал уходил с намытого участка не только вдоль берега, а также и, возможно, в основном, на глубину, формируя профиль динамического равновесия.

Продолжившийся размыв пляжей и берега Самбийского полуострова обуславливал необходимость защиты локальных аварийных

участков с помощью пляжеудерживающих сооружений, при этом продолжили возводить буны с низкой корневой частью [17], столетний опыт применения которых в условиях дефицита песка во вдольбереговом потоке показал их малую эффективность. Низкая корневая часть бун снижает их пляжеудерживающую способность. Максимальная эффективность бун будет обеспечена, когда профиль их гребня будет повторять профиль проектируемого пляжа с разумным запасом. Именно поэтому 40 ранее возведенных деревянных бун из лиственницы в г. Зеленоградске не привели к стабилизации пляжевой полосы.

Дефицит наносов в береговой зоне и во вдольбереговом потоке Самбийского полуострова, а также неудачный опыт создания свободного волногасящего песчаного пляжа показали бесперспективность этого направления. Но проблема защиты размываемых берегов Калининградской области осталась, и поиск способа решения этой проблемы продолжается и в настоящее время.

Постановка задачи

Перспективным направлением защиты абразионных берегов Калининградского побережья представляется создание песчаных пляжей в комплексе с волногасящими, пляжеудерживающими и берегозащитными (берегоукрепительными) сооружениями.

Волногасящее сооружение – прерывистый волнолом из тетраподов – частично гасит энергию волн и снижает волновое воздействие на пляж, а также сокращает ширину зоны интенсивного вдольберегового переноса пляжного материала. Пляжеудерживающие сооружения – буны из крупного камня с примкнутой корневой частью к опояске – обеспечивают относительную стабильность пляжа и в то же время пропуск транзитного потока наносов, который формируется на подходе к защищаемому участку.

Пляж расчётных размеров образуется из материала, отсыпанного в межбунные отсеки. Берегозащитные сооружения – опояска или каменная берма – возводятся по подошве берегового склона для повышения его устойчивости и защиты при штормах редкой повторяемости при высоком нагонном уровне.

Транзитный поток песчаного материала вдоль системы сооружений и пляжа на локальном участке исключает их негативное влияние на прилегающий участок берега по ходу пото-



ка наносов – низовой размыв. Вместе с тем транзит песчаного материала в условиях дефицита материала в потоке наносов обуславливает минимальную ширину устойчивого пляжа, которая определяется пляжеудерживающей способностью комплекса волногасящих и пляжеудерживающих сооружений и реальным потоком наносов, сформированным на подходе к участку. Размер устойчивого пляжа может быть увеличен путем отсыпки песчаного материала на подходе к защищаемому участку, то есть путём снижения дефицита материала в потоке наносов.

Возведение устойчивой полосы песчаного пляжа в комплексе с волногасящими и пляжеудерживающими сооружениями и отсыпкой (намывом) пляжеобразующего материала позволит решать задачу защиты размываемых берегов и расположенных в береговой зоне транспортных магистралей Калининградской области поэтапно. Сначала выполняется защита локальных (аварийных) участков, а в последующем – создание искусственного пляжа в пределах основной зоны размыва берега на всем северном побережье от мыса Таран и до Куршской косы включительно. Автодорога, проложенная по Куршской косе, неоднократно затопливалась при размыве береговых дюн и прорыве нагонных вод в районе Зеленоградска [17].

Результаты экспериментальных исследований

Исследование устойчивости песчаного пляжа было выполнено на модели фрагмента берега Самбийского полуострова в районе бухты Пионерской с дефицитом материала во вдольбереговом потоке наносов. Высота берегового склона в пределах участка изменяется от трех до десяти метров. Основание склона местами размывто. Ширина пляжной полосы составляет 10–15 м.

Уклон подводного склона в стометровой прибрежной полосе составляет 0,01, а в 500-метровой ещё уполаживается.

На подводном склоне выделяются два подводных песчаных вала. Первый вал располагается на расстоянии 50 м от берега, имеет относительную высоту 0,6 м и глубину над гребнем 0,9 м. Второй вал находится на расстоянии 250 м от берега, высота его составляет 0,7 м, а глубина на гребне 3,4 м.

Средний многолетний уровень моря по данным наблюдений на ГМС Пионерский

составляет 0,07 м в Балтийской системе высот. Максимальный уровень обеспеченностью 1 % равен 1,36 м абс., а минимальный уровень составляет минус 1,10 м абс. (амплитуда колебаний 2,46 м).

Экспериментальные исследования в волновом бассейне устойчивости отсыпанного материала были выполнены при западном шторме повторяемостью один раз в 25 лет при уровне моря обеспеченностью 1 %. Параметры волн западного шторма на подходе к волнолому составляли:

- средний период $\bar{T} = 13,5$ с;
- высота волн $h = 2,24$ м;
- азимут 331 градус.

При экспериментальных исследованиях на гидравлических моделях литодинамических процессов, протекающих на песчаных побережьях, в качестве наносов применялся песок, крупность которого соответствует материалу пляжа в натуре.

На модели в волновом бассейне в вертикальном масштабе 1:37 и в горизонтальном масштабе 1:131 был построен фактический рельеф прибрежной зоны участка Пионерской бухты протяжённостью 700 м и шириной 342 м от подошвы берегового склона до изобаты 5,0 м. Поверхность рельефа была построена по установленным маякам.

На расстоянии 170 м от подошвы берегового склона построены три фрагмента прерывистого волнолома из шести слоев тетраподов массой 3 тонны.

Отметка верха гребней прерывистого волнолома составляла +1,70 м БС (на 0,34 м выше расчетного максимального уровня обеспеченностью 1 %), а просветы между фрагментами прерывистого волнолома при среднем уровне – 29 м.

Четыре буны длиной по 100 м из крупного камня массой от 100 до 300 кг были расположены в центральной части выбранного участка. Расстояние между осями бун составляло 100 м. Корневая часть бун, примыкающая к опояске, выполнена горизонтальной на отметке +2,0 м на протяжении 15 м. Далее в море гребень понижается до отметки +1,0 м в голове бун.

В межбунные отсеки был отсыпан песок средней крупностью 0,50 мм. В пределах прибрежной полосы шириной 59 м поверхность отсыпанного материала выполнена на 20 см ниже гребня каменнонабросных бун, а дальше в море слой отсыпанного материала



Рис. 5. Вид модели во время эксперимента [фото авторов].

уменьшался до нуля в 150 м от берега. Отметки поверхности отсыпанного материала контролировались по маячкам, распределённым по площади. За пределами бун с верховой относительно потока наносов и низовой стороны рельеф дна модели оставался естественным.

Согласно материалам наблюдений, продолжительность штормов, проходящих в исследуемом районе, изменяется от 6 до 40 часов. Средняя продолжительность штормов составляет 23 часа. При исследовании на модели пляжа в волновом бассейне продолжительность шторма, которая соответствует фазе его стабилизации, принята равной 24 часам в натуре и, соответственно, четырем часам на модели.

Во время эксперимента под действием волн из материала исходной отсыпки начал формироваться пляж (рис. 5). Основная часть материала перемещалась в верхнюю часть модели к опояске. Незначительная часть песчаного материала перебрасывалась через гребни второй, третьей и четвертой бун на протяжении всего опыта.

В первые два часа эксперимента отмечался интенсивный размыв естественного дна модели западнее первой (западной) буны. Размытый материал частично аккумулировался перед первой буной, а оставшаяся часть компенсировала дефицит материала во вдольбереговом потоке наносов и транзитом уходила за пределы участка. Снижение дефицита материала в транзитном потоке наносов и перестройка профиля отсыпанного пляжа

под действием волн, выразившаяся в массовом перемещении материала с глубины 2,5 м – 4,0 м в верхнюю и надводную часть формирующегося пляжа, обусловили расширение пляжа и повышение его отметок. В начале опыта ширина отсыпанного пляжа при расчётном уровне 1,36 м в пределах всего участка составляла 22 м. Через два часа опыта (первые 12 часов шторма в натуре) ширина пляжа увеличилась во всех трех отсеках и составляла от 38 до 62 м.

В течение последних двух часов эксперимента размыв дна модели на подходе к защищаемому участку сократился в связи с истощением запасов песка и частичным обнажением каменной отмостки. Это привело к росту дефицита материала в потоке наносов. У подветренной стороны первой буны пляж был размыт полностью, а у наветренной стороны второй с запада буны ширина пляжа составляла 26,6 м. Таким образом, в первом межбунном отсеке наблюдался резкий перекокс контура пляжа в сторону перемещения материала.

Во втором и третьем межбунных отсеках сформировался пляж с более ровным контуром, а ширина его превысила ширину исходной отсыпки в два раза.

По результатам выполненных на модели измерений были определены объёмы деформаций рельефа в межбунных отсеках и на прилегающих участках берега. На участке к западу от первой (западной) буны преобладал размыв в течение всего эксперимента с постепенным снижением интенсивности.



Объём размыва только в полосе шириной 15 м, прилегающей к первой западной буне, составил 1892 м³. Следует отметить, что размывалась, в основном, внешняя низкая часть дна на отметках от 0,0 м до минус 4,0 м, в то время как пляж прирастал. В результате во входящем углу у первой буны сформировался пляж шириной 26 м и протяженностью 22 м, который сохранился до конца эксперимента.

В первом западном отсеке отсыпанный материал пляжа и дно были частично размывты. Объём размыва составил 7452 м³. Во втором межбунном отсеке зафиксирована аккумуляция материала в объёме 10443 м³. В третьем отсеке аккумуляция пляжа составила 9963 м³. Аккумулировался песчаный материал и на восточной подветренной стороне четвертой буны. Здесь отложилось 1556 м³.

Суммарный объём песчаного материала в пределах защищаемого участка протяжённостью 300 м по осям крайних бун за период расчётного шторма в целом увеличился на 13151 м³. Следовательно, предлагаемая система волногасящих и пляжеудерживающих сооружений обеспечивает устойчивость пляжа.

Следует отметить, что на подводном склоне в районе голов бун второго и третьего межбунных отсеков и далее до волноломов деформации дна в течение всего эксперимента были незначительны, также как за пределами волноломов. Волна, проходя в просветы прерывистого волнолома, огибает выступающий из воды его фрагмент, и два элемента волны встречаются в заволноломной акватории, образуя новую волну, по высоте близкую к исходной. Место встречи двух элементов волны отклоняется от середины фрагмента волнолома в зависимости от угла подхода волн. В результате этого эффекта высота пляжа вдоль абразионного берега изменялась от минимального 2,0 м в зоне дивергенции волновых лучей до максимального в зоне конвергенции 3,60 м.

ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования на физической модели берега с дефицитом материала во вдольбереговом потоке наносов показали, что комплекс волногасящих и пляжеудерживающих сооружений в сочетании с отсыпкой материала позволяет создавать локальный устойчивый волногасящий песча-

ный пляж, обеспечивающий защиту берега и расположенных в береговой зоне транспортных магистралей и других сооружений.

В проведённых экспериментах показана принципиальная возможность создания локального устойчивого песчаного пляжа на северном побережье Калининградской области.

Результаты исследований можно распространить и на другие прижимные участки автомобильных и железных дорог, расположенные на берегах морей с песчаными наносами. При защите конкретного участка необходим поиск оптимального варианта размеров и компоновки волногасящих и пляжеудерживающих сооружений, позволяющего решить задачу при минимальных затратах.

Так как в области защиты транспортных сооружений, расположенных на морских берегах с песчаными наносами, всё ещё остаётся достаточно много неразрешённых вопросов, исследования в данном направлении требуются продолжить.

Так, одной из основных проблем остаётся адекватная оценка транспорта песчаных наносов в береговой зоне. Наиболее достоверно морфодинамические процессы и транспорт наносов на песчаных берегах описаны с использованием математических моделей в [9; 19], что подтверждается данными натурных наблюдений [15; 16 и др.] и исследованиями, представленными в настоящей работе. Учитывая успешное развитие в последние годы численных моделей динамики рельефа и успешное применение моделей, отражённых в [9; 19], дальнейшие исследования данных вопросов целесообразно продолжить с использованием методов математического моделирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баринов М. Ф., Смешко В. А. Разработка предложений по предупреждению чрезвычайных ситуаций, вызванных размывом дорожного полотна автомобильных дорог федерального значения // Проблемы и пути совершенствования проведения аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций: Сб. трудов XXXIII Международной научно-практ. конференции, Химки, 01 марта 2023 года. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2023. – С. 18–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50480381&pff=1>. Доступ 26.06.2023. EDN: FHDLOK.

2. Тлявлиня Г. В., Ярославцев Н. А., Петров В. А., Тлявлин Р. М. О методах защиты транспортных соору-

жений на открытых песчаных берегах внутренних морей // Транспортное строительство. – 2015. – № 6. – С. 14–16. EDN: SGDDMX.

3. Саратникова Ю. В. Актуальные вопросы берегового природопользования северного побережья Калининградской области // Молодой ученый. – 2019. – № 3 (241). – С. 126–129. EDN: VSBVNZ.

4. Михневич Г. С., Лосева В. М. Классификация геологических и инженерно-геологических факторов экологического риска в прибрежной зоне Калининградской области // Геопрограммные исследования общественных и природных систем: теория и практика: сборник статей / ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова». – Чебоксары: ООО «Издательский дом «Среда», 2019. – С. 115–123. DOI: 10.31483/g-33276.

5. Болдырев В. Л. Аварийная обстановка на Калининградском побережье Балтийского моря // ГеоРиск. – 2009. – № 1. – С. 32–34. EDN: KTZOPL.

6. Рябова О. И., Левченков А. В. Изучение побережья Самбийского полуострова: вклад немецких, советских и российских ученых // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2016. – № 3. – С. 44–70. EDN: XBOEQV.

7. Богданов Н. А., Совершаев В. А., Жиндарев Л. А., Агапов А. П. Эволюция представлений о динамике юго-восточных берегов Балтийского моря // Геоморфология. – 1989. – № 2. – С. 62–69. EDN: QNQRCE.

8. Бабаков А. Н. Эволюция представлений о вдольбереговых потоках наносов в юго-восточной Балтике. // Литодинамика донной контактной зоны океанов. Материалы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В. В. Логинова. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 56–58.

9. Леонтьев И. О. Потоки наносов вдоль юго-восточного побережья Балтики // Геоморфология. – 2015. – № 1. – С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-70-76>.

10. Белова П. М., Корзинин Д. В. Математическое моделирование вдольберегового потока наносов у побережья Балтийской косы // Комплексные исследования Мирового океана: Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, Москва, 18–24 апреля 2021 года. – М.: Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, 2021. – С. 41–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46522868&pf=1>. Доступ 26.06.2023.

11. Корзинин Д. В., Штремель М. Н. Динамика подводного вала песчаного берега под воздействием штормового волнения по данным мониторинговых наблюдений // Морской гидрофизический журнал. – 2020. – Т. 36. – № 4 (214). – С. 424–436. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-4-424-436.

12. Стонт Ж. И., Бобыкина В. П. «Ныряющие циклоны» и размыв берегов Куршской косы (Калининградская область) // XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования: Сб. материалов Всероссийской конференции с международным участием, Калининград, 18–24 апреля 2022 года. – Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2022. – С. 151–153. EDN: VPEPKC.

13. Карманов К. В., Бурнашов Е. М. Анализ пространственно-временной изменчивости характеристик современной динамики морского берега в Калининградской области // Арктические берега: путь к устойчивости: Материалы XXVII Международной береговой конференции, Мурманск, 24–29 сентября 2018 года / Ответственный редактор Е. А. Румянцев. – Мурманск: Мурманский арктический государственный университет, 2018. – С. 88–91. EDN: VKNZKR.

14. Масуров П. С., Великанов Н. Л. Динамика изменения ширины пляжа в отдельных районах морского побережья города Зеленоградска // Вестник молодежной науки. – 2020. – № 4 (26). – С. 10. DOI: 10.46845/2541-8254-2020-4(26)-10-10.

15. Белов Н. С., Шаплыгина Т. В., Данченков А. Р., Волкова И. И. Оценка эффективности восстановления авантюны после шторма (на примере участка авантюны на 14-м км национального парка «Куршская коса») // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: Сб. научных статей. Вып. 17. ФГБУ «Национальный парк «Куршская коса». – Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. – С. 95–103. EDN: QTCUOS.

16. Бобыкина В. П., Стонт Ж. И., Килесо А. В. Деформации морского берега Куршской косы (Юго-Восточная Балтика) под воздействием штормов осенне-зимнего сезона 2018–2019 годов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2021. – № 2. – С. 73–83. [Электронный ресурс]: https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/fd5/6_73-83.pdf. Доступ 26.06.2023.

17. Зеняускяйте А. А. Берегозащитные сооружения как метод защиты морского побережья Калининградской области // Академическая публицистика. – 2020. – № 4. – С. 579–593. EDN: BUOQSI.

18. Рыбак О. Л., Супрунов Л. И. Деформация песчаного берегового склона под действием длинных волн // Сб. научных трудов Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства – М., 1978. – Вып. 106: Защита морских берегов. – С. 32–39.

19. Леонтьев И. О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. – М.: ГЕОС, 2001. – 272 с. ISBN 5-89118-211-4. ●

Информация об авторах:

Тлявлиная Галина Вячеславовна – кандидат технических наук, заведующий лабораторией моделирования, расчётов и нормирования в гидротехническом строительстве Научно-исследовательского центра «Морские берега» (ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега») – обособленного подразделения Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства (АО ЦНИИТС), Сочи, Россия, TlyavlinaGV@Tsnis.com.

Тлявлин Роман Маратович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора Научно-исследовательского центра «Морские берега» (ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега») – обособленного подразделения Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства (АО ЦНИИТС), Сочи, Россия, TlyavlinRM@Tsnis.com.

Ярославцев Нестифор Аксентьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Морские берега» (ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега») – обособленного подразделения Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства (АО ЦНИИТС), Сочи, Россия, demti8@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.04.2023, одобрена после рецензирования 23.11.2023, принята к публикации 04.12.2023





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.1:624.922:624.872

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-5-4>

Оптимизация конструкции подводного плавающего транспортного сооружения



Иван ДЕМИДОВ



Владимир ПОЛЯКОВ

Иван Михайлович Демидов ¹,
Владимир Юрьевич Поляков ²

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

✉ ² pyu55@mail.ru.

¹ SPIN-код: 3365–6643.

² Scopus Author ID: 57201723559,

Web of Science ID: AAS-4866-2021.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается оптимизация внутренних усилий от постоянных нагрузок конструкции подводного пересечения для снижения локальных эффектов внутренних усилий.

Этот новый вид искусственных сооружений может найти применение при значительных глубинах пересекаемых водных преград. Такие сооружения будут востребованы для возведения подводных переходов в составе трансконтинентальных транспортных коридоров, таких как Север–Юг, Япония–Европа и других.

Целью предлагаемого исследования является оптимизация конструкции для решения проблемы перегрузок элементов сооружения. Для решения этой проблемы применялись методы строительной механики и численного экспери-

мента с использованием метода конечных элементов. Оптимизация позволяет снизить изгибающие моменты в зонах краевого эффекта в несколько раз и при применении веерной схемы закрепления. Это позволит применять унифицированные секции конструкции. В статье обосновываются методы оптимизации и их верификация с помощью метода конечных элементов.

В статье также рассматриваются проблемы живучести сооружения в случае отказа одного или двух анкерных закреплений. Изгибающие моменты значительно увеличиваются, однако движение можно не останавливать, так как нагрузка от поезда при железнодорожном движении и суммы постоянных нагрузок имеют противоположные знаки.

Ключевые слова: транспортное строительство, погруженный плавающий тоннель, SFT, оптимизация, веерное крепление, глубоководные препятствия.

Для цитирования: Демидов И. М., Поляков В. Ю. Оптимизация конструкции подводного плавающего сооружения // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 34–45. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-5-4>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Подводные плавающие транспортные тоннели представляют собой новый вид транспортных сооружений, имеющий ряд значительных преимуществ [1]. Важнейшие из них – возможность строительства при значительных глубинах, а также компенсация собственного веса конструкции выталкивающей архимедовой силой для положительной плавучести. Положительная плавучесть, предотвращающая погружение на глубину более расчётной, должна быть обеспечена и при прохождении подвижного состава. Поэтому, появление временной нагрузки от поезда, будет, вероятно, снижать внутренние усилия в конструкциях сооружения.

Как известно, сегодня максимальная глубина при строительстве опор мостов не превышает 60 м (мост Акаши-Кайке [1]).

Возможными местами применения таких сооружений являются пролив Лаперуза с глубинами более 50 м (проект создания трансконтинентальной железной дороги Европа–Япония¹ [2]), Ормузский пролив с глубинами до 100 м как продолжение коридора Север–Юг (Ашхабадское соглашение²) (рис. 1 б), Тайваньский пролив с глубинами³ более 100 м.

За рубежом неоднократно рассматривались возможности применения подводных плавающих сооружений, например, в таких локациях, как залив Функа в Японии [3], озеро Циндао в Китае [4, 5], плавающий тоннель через Хогсфьорд в Норвегии [6], а также технико-экономическое обоснование сооружения при пересечении Мессинского пролива [7]. Недостаточная разработка научных проблем не позволила реализовать эти проекты.

Возможность применения такого сооружения через горло Белого моря (рис. 1 а, рис. 2) длиной около 43 км и глубинами более 100 м рассматривается в данной статье как пример. Эта линия является перспективной

для перевозки экспортных грузов из Пермского края в Мурманск (калийных удобрений), так как позволит сократить расстояние перевозки на ~1000 км (на 30 %). Как известно, крушение моста через реку Кола в 2020 году привело к остановке поставок и прекращению на четыре месяца⁴ железнодорожного сообщения по единственной линии Октябрьской железной дороги. Поэтому строительство дублирующей линии через горло Белого моря более чем актуально. Отметим также принципиальную возможность строительства таких сооружений через пролив Гибралтар с глубинами до 1181 м и Мессинский пролив (рис. 3) и т. д.

Все упомянутые пересечения имеют глубины, значительно превышающие рекордные глубины уникального моста Акаши-Кайке.

Несмотря на очевидные преимущества сооружений SFT (submerged floating tunnel – погружённый плавающий тоннель) их проектирование не продвинулось далее технико-экономического обоснования из-за серьёзных научных проблем. Одна из таких проблем – значительные и неравномерные по длине изгибающие моменты.

Целью предлагаемого исследования является оптимизация конструкции для решения проблемы перегрузок. Для решения этой проблемы применялись методы строительной механики и численного эксперимента с использованием метода конечного элемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оптимизация изгибающих моментов в веерной схеме от постоянных нагрузок

Применение подводных плавающих тоннелей на больших глубинах затруднено из-за сложности в устройстве большого количества анкерных закреплений, хотя сегодня технологии бурения и обустройства скважин применяются на глубинах до 3 км [1]. Рассмотрим применение веерных анкерных тросов, соединённых в пучок (рис. 4) для уменьшения количества анкерных прикреплений или же преодоления препятствия на дне (значительные глубины или неподходящие грунты) с помощью такой конструкции. Благодаря компенсации нагрузки от собственного веса архимедовой силой величина пролёта l_m мо-

¹ Дорога в Японию: Россия предложила соединить Сахалин и Хоккайдо транспортным переходом. [Электронный ресурс]: <https://russian.rt.com/russia/article/427017-most-sahalin-hokkaido>. Доступ 20.06.2023.

² В. Панфилова. Россия и страны Центральной Азии перезагрузили отношения // Независимая газета, 16.10.2022. [Электронный ресурс]: https://www.ng.ru/cis/2022-10-16/1_8566_asia.html?ysclid=lmt0ogwczd418645606. Доступ 20.06.2023.

³ [Электронный ресурс]: <https://www.worldatlas.com/traits/taiwan-strait.html>. Доступ 20.06.2023.

⁴ В Мурманской области открылся восстановленный железнодорожный мост через реку Колу. [Электронный ресурс]: <https://tass.ru/ekonomika/9567107?ysclid=lfxsugptkg929973454>. Доступ 08.04.2023.



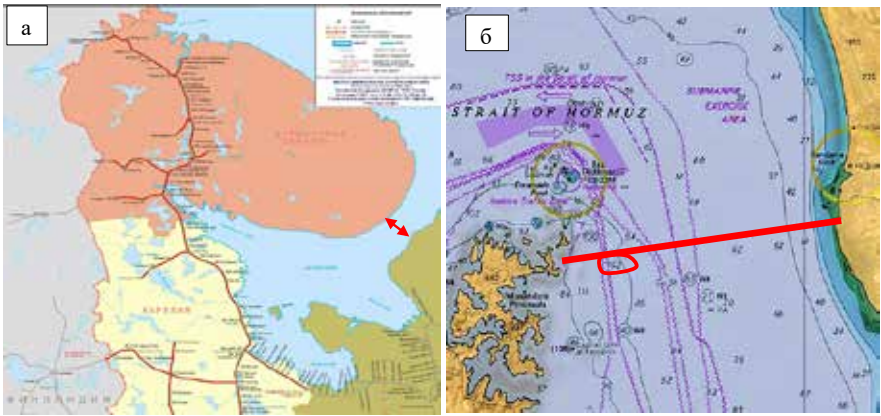


Рис. 1. Пересечение горла Белого моря (а) [[Электронный ресурс]: <https://glavtrans38.com/poleznaya-informatsiya/karta-zheleznykh-dorog/oktyabrskaya-zh-d>. Доступ 20.06.2023.], (б) Ормузского пролива [[Электронный ресурс]: <https://blog.geogarage.com/2019/05/strange-things-are-afoot-in-strait-of.html>. Доступ 20.06.2023.], где глубины превышают 100 м.

Примерное очертание дна горла Белого моря через мыс Инцы.
Масштаб по высоте $\times 20$.
(1:200000)

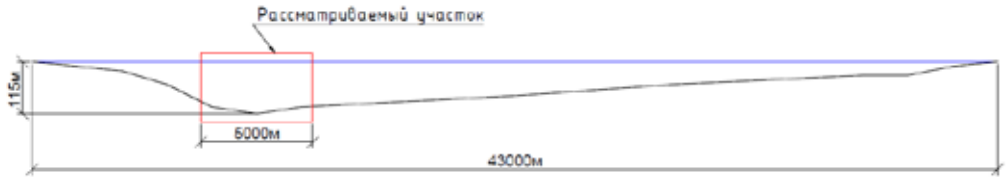


Рис. 2. Очертание дна горла Белого моря в створе мыса Инцы [разработано авторами].



Рис. 3. Сравнение плавающего тоннеля с другими сооружениями [1].

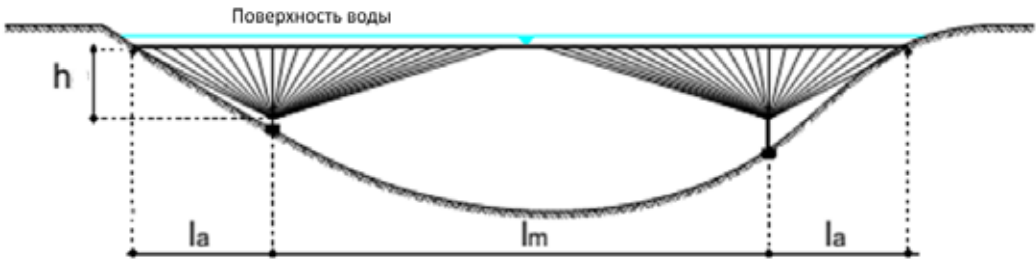


Рис. 4. Анкерные тросы в веерной схеме [8].

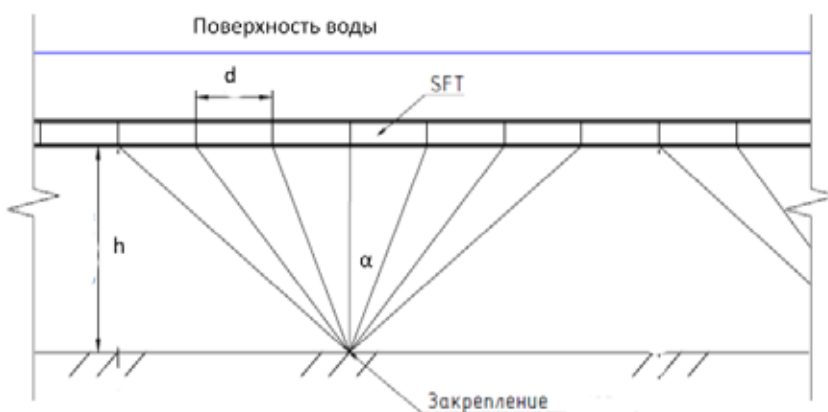


Рис. 5. Схема веерного прикрепления при больших глубинах [разработано авторами].

жет значительно превышать рекордные 1100 м для вантовых мостов.

На рис. 5 $l_0 = \frac{h}{\cos \alpha}$ — длина наклонного

троса,

где α — угол наклона троса от вертикали,

h — длина вертикального троса.

В данной расчётной схеме (рис. 5) можно для обеспечения минимизации момента достичь одинакового вертикального перемещения горизонтальной балки жёсткости сооружения путем изменения жёсткости анкерных тросов в зависимости от угла их наклона и глубины. Под постоянной нагрузкой будем понимать сумму нагрузок от собственного веса и распределенной архимедовой силы. На рис. 6 показана деформированная схема некоторого произвольного узла сооружения от суммарной постоянной нагрузки, при этом

деформации изгиба будем полагать малыми по сравнению с деформациями тросов.

Усилие в наклонных тросах:

$$F_0 = \frac{F}{\cos \alpha},$$

где F — вертикальная составляющая усилия в тросе.

Примем $\alpha' \approx \alpha$ ввиду того, что $F_n/A_n \ll E$ и $\Delta'_n \ll l_a$, где F_n — усилие в n -м тросе, A_n — площадь его поперечного сечения, E — модуль упругости троса, Δ'_n — деформация троса, l_a — длина троса до приложения нагрузки.

Вертикальная проекция продольной деформации Δ'_n n -го наклонного троса от приложения нагрузки:

$$\Delta_n = \frac{\Delta'_n}{\cos \alpha_n}.$$

Чтобы обеспечить равенство вертикальных перемещений вертикального и наклон-

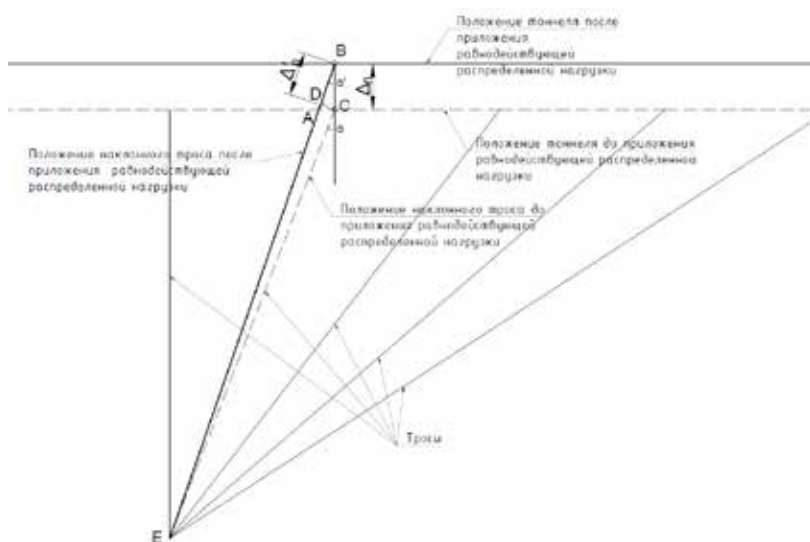


Рис. 6. Фрагмент деформированной расчётной схемы от постоянной нагрузки [разработано авторами].

Таблица 1

Площади сечений тросов для рассматриваемой модели [разработано авторами]

Глубина h_k , м	Угол наклона α_{nk} , градусы	Исходная площадь сечения тросов, м ²	Площадь сечения тросов после оптимизации по формуле (3)
160	0.00	0.0683	0.0683
160	10.62	0.0683	0.0719
160	20.56	0.0683	0.0832
160	29.36	0.0683	0.1032
160	36.87	0.0683	0.1334
200	0.00	0.0683	0.0854
200	8.53	0.0683	0.0883
200	16.70	0.0683	0.0972
200	24.23	0.0683	0.1126
200	30.96	0.0683	0.1354
240	0.00	0.0683	0.1025
240	7.12	0.0683	0.1049
240	14.04	0.0683	0.1122
240	20.56	0.0683	0.1248
240	26.56	0.0683	0.1432

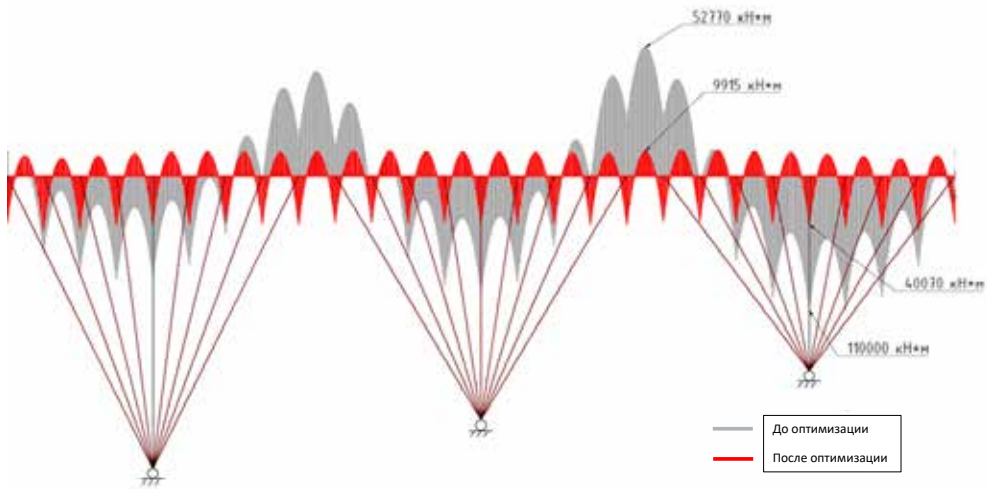


Рис. 7. Эпюры моментов в балке жесткости сооружения от постоянных нагрузок до и после оптимизации [разработано авторами].

ных тросов, положим $\Delta_o = \Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n$,
где n – номер троса в пучке,
 $\Delta_o = \frac{F \cdot h}{EA}$ – деформация вертикального

троса,
 $\Delta'_n = \frac{F_n \cdot l_n}{EA_n}$ – деформация n -го наклонного

троса,
 Δ_n – вертикальная проекция деформации наклонного троса,
 E, A – модуль упругости и площадь сечения вертикального троса.

При $\Delta_o = \Delta_n$:

$$\frac{F \cdot h}{EA} = \frac{F_n \cdot l_n}{EA \cos \alpha_n},$$

$$\frac{Fl_o}{EA} = \frac{F}{EA_n \cos \alpha_n},$$

где A_n – площадь сечения наклонного троса.

Получим уравнение, обеспечивающее одинаковое вертикальное перемещение балки жёсткости сооружения для одного веерного узла крепления:

$$EA_n = \frac{EA}{\cos^3 \alpha_n}. \tag{1}$$

Условия для обеспечения равенства вертикальных перемещений соседнего k -го пучка (рис. 7) с другой глубиной крепления h_k и площадью сечения A_k вертикального троса:

Результаты оптимизации изгибающих моментов в балке жесткости
[разработано авторами]

Параметр	До оптимизации	После оптимизации
Минимальный момент (модуль), кНм	52770	9915
Максимальный момент, кНм	110000	40070
Среднеквадратическое отклонение, кНм	24600	8890

$$\Delta_k = \Delta_0,$$

$$\frac{Fl_k}{EA_k} = \frac{Fh}{EA},$$

$$(EA)_k = \frac{EA h_k}{h}, \quad (2)$$

где h_k/h – отношение глубины прикрепления к пучка к исходной.

Подставляя жёсткость $(EA)_k$ вертикального троса соседнего пучка из уравнения (2) в уравнение (1) вместо жёсткости вертикального троса EA , получим уравнение, обеспечивающее одинаковое вертикальное перемещение наклонных тросов на k -ом пучке:

$$(EA)_k = \frac{EA h_k}{h \cos^3 \alpha_{nk}}, \quad (3)$$

где α_{nk} – угол наклона n -го троса в k -м пучке. Отметим, что оптимальное решение не зависит от параметра EJ балки жёсткости, которая может быть любой.

В случае применения вертикальных тросов задача оптимизации значительно упрощается.

С целью верификации разработанного метода произведём численный эксперимент с помощью программного комплекса Катран, на основе метода конечных элементов. Для изменения жёсткости тросов будем изменять площадь сечения тросов. Различные варианты распределения площади сечения тросов приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены статистические результаты оптимизации, из которых видно, что модуль минимального момента по длине сооружения уменьшен более, чем в пять раз, максимальный момент уменьшен в 2,75 раза, что ведёт к существенному снижению материалоёмкости. Неравномерность моментов, как видно из рис. 7, существенно снижена, что демонстрируется снижением среднеквадратического отклонения в 2,8 раза (табл. 2). Указанное выравнивание значений изгибающих моментов позволит применять унифицированные секции балки жёсткости сооружения.

Краевые эффекты на припортальных участках

Припортальные участки сооружения (вблизи берегов водной преграды) располагаются на небольших глубинах. В этом случае применение всеерной схемы мало оправданно. Рассмотрим сооружение с вертикальным расположением анкерных тросов в продольном направлении. В поперечном направлении угол наклона тросов к вертикали составляет 45° . В этом случае жёсткость закреплений тоннеля от всплытия легко определяется для обеспечения минимума изгибающих моментов вне припортальных участков. Эпюра моментов в балке жёсткости (рис. 8) имеет значительный краевой эффект в зоне берегового закрепления в виде заделки, не допускающей каких-либо перемещений балки жёсткости в месте прикрепления к порталу или традиционному подземному тоннелю.

Поставим задачу снижения изгибающих моментов в зоне берегового закрепления до некоторого предписанного значения. Для решения этой задачи будем регулировать жёсткость тросов, удерживающих подводный плавающий тоннель от всплытия на припортальных участках.

Представим балку жёсткости сооружения как балку на упругом основании. Уравнение оси балки на упругом основании представляет собой

$$(EJv(x))'' + k(x)v(x) = q(x), \quad (4)$$

где $v(x)$ – функция деформированной оси балки жёсткости.

При этом первое слагаемое представляет собой реакцию сооружения на воздействие суммарной постоянной нагрузки $q(x)$ вследствие изгиба балки, второе – вследствие деформации основания (тросов). С технологической точки зрения целесообразно считать $EJ = const$, возможность этого подтверждается результатами оптимизации в первом подразделе выше (согласно выражению (3) оптимальное решение не зависит от EJ). Кроме того при $EJ = const$ сумма постоянных нагрузок $q(x) = const$, так как выталкивающая ар-



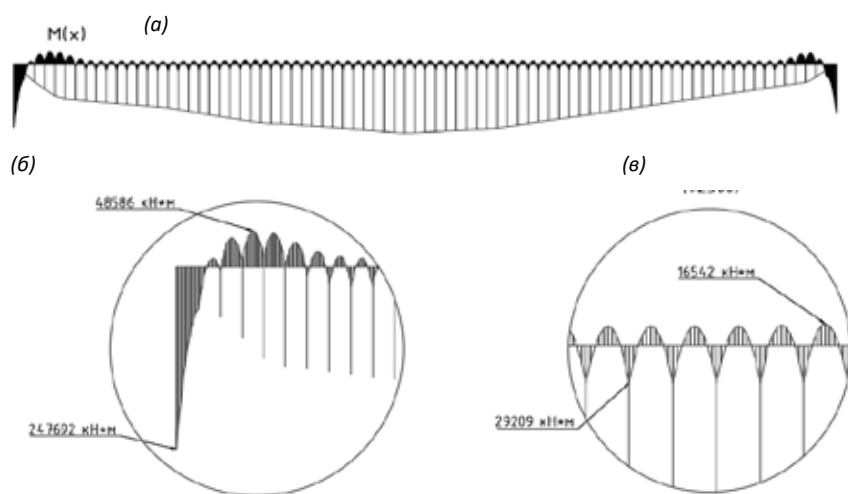


Рис. 8. Эпюры моментов в балке жесткости сооружения (а), в зоне краевого эффекта (б) и вне его (в) до оптимизации [разработано авторами].

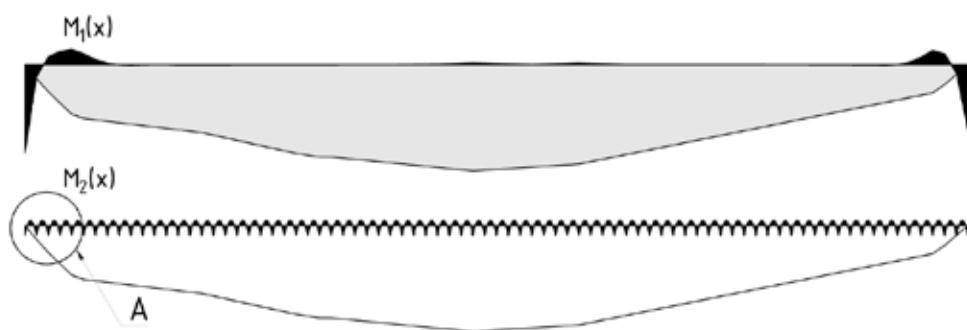


Рис. 9. Эпюры моментов при наличии краевого эффекта $M_1(x)$ и в его отсутствие $M_2(x)$ [разработано авторами].

химедова сила не зависит от x , а только от брутто-площади поперечного сечения балки жёсткости. Поскольку габарит приближения внутреннего очертания тоннеля неизменен по длине, а при снижении изменчивости изгибающего момента можно обеспечить постоянство и площади, и момента инерции приведенного сечения, то

$$EJv(x)^{IV} + k(x)v(x) = q. \quad (5)$$

Жёсткость основания $r_i(x)$ обусловлена жёсткостью тросов при их продольной деформации

$$r_i(x) = \frac{EA(x)}{l(x)}, \quad (6)$$

где E , $A(x)$ – модуль упругости и площадь сечения тросов,

$l(x)$ – длина тросов, которая зависит от глубины h ,

J – момент инерции сечения балки относительно его горизонтальной оси.

Тогда $k(x) = r_i(x)/d$,

где d – расстояние между узлами прикрепления тросов к балке, причём $d = const$ по технологическим соображениям.

Исходя из уравнения (5), получим:

$$r_i(x) = dq / v(x) - dEJ_x v(x)^{IV} / v(x). \quad (7)$$

Практика моделирования напряжённо-деформированного состояния сооружения показывает, что второе слагаемое правой части (7) на 2–3 порядка меньше первого слагаемого при значительной жёсткости балки сооружения из-за необходимости соблюдения внутреннего габарита приближения. Кроме того, для максимального снижения изгибающих моментов в зоне краевого эффекта, а, значит, снижения реакции от изгиба на действие постоянных нагрузок следует пренебречь этим вторым слагаемым, чтобы избежать значительной реакции от изгиба, в основном переложив на анкерные тросы восприятие постоянных нагрузок. Тогда, для численных экспериментов определения функции жёсткости $r_i(x)$ можно использовать выражение

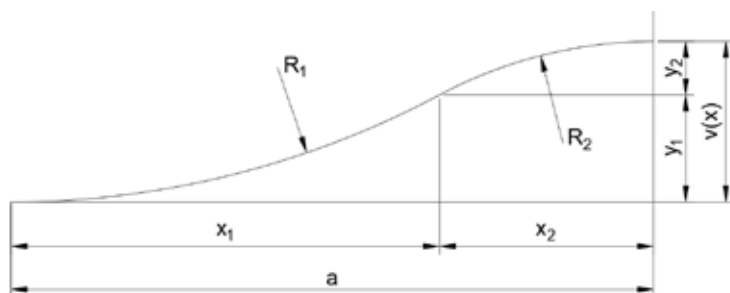


Рис. 10. Деформированная ось балки жёсткости близи берегового закрепления для управления моментом в зоне краевого эффекта [разработано авторами].

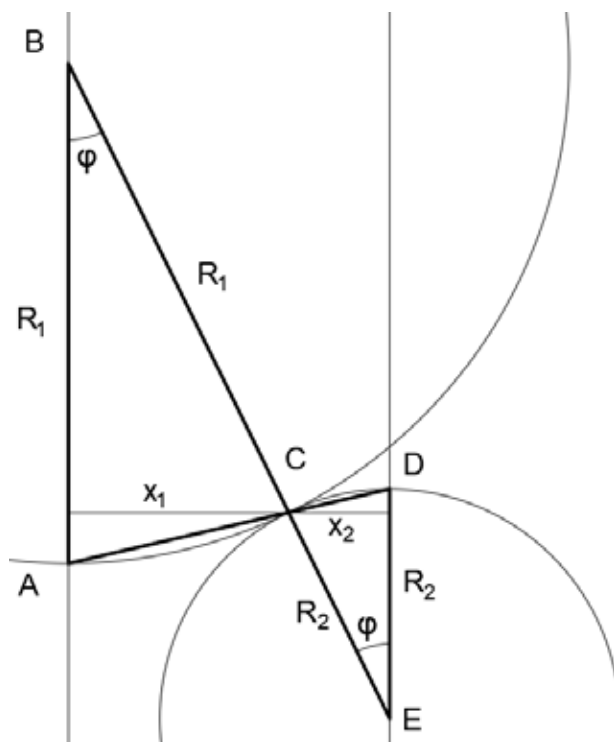


Рис. 11. Требуемая геометрия деформированной схемы для обеспечения постоянства M_1 [разработано авторами].

$$r_t(x) = \frac{d \cdot q}{v(x)}. \quad (8)$$

Функцию изгибающего момента $M(x)$ можно представить в виде суммы (рис. 9)

$$M(x) = M_1(x) + M_2(x), \quad (9)$$

где $M_1(x)$ описывает краевой эффект от берегового закрепления,

$M_2(x)$ – функция момента, где краевой эффект незначителен.

Для снижения краевого эффекта вблизи точек закрепления балки жёсткости сооружения потребуем, чтобы $M_1(x)$ представляла собой постоянную ограниченную функцию (как это происходит вне зоны краевого эффекта, где $M_1 \rightarrow 0$). Это значит, что деформированная ось балки представляет собой

окружность радиуса R_1 (рис. 10) на протяжении x_1 .

Тогда уравнение окружности на протяжении x_1 будет иметь вид:

$$R^2 = x^2 + (v(x) - R)^2. \quad (10)$$

После элементарных преобразований получим:

$$(v(x) - R)^2 = R^2 - x^2. \quad (11)$$

Или, решая квадратное уравнение $v(x)^2 - 2v(x)R + x^2 = 0$, получим:

$$v(x) = \pm \sqrt{R^2 - x^2} + R. \quad (12)$$

Знак «+» в (12) относится к участку окружности с положительной кривизной в правой системе координат, соответствующей участку x_1 , а знак «-» – к участку с отрицательной кривизной x_2 .



Таблица 3
 Параметры типового троса
 до оптимизации [разработано авторами]

Наименование	Значение
Модуль упругости троса, Мпа	201000
Количество тросов в узле прикрепления, шт	2
Площадь сечения 2-х тросов до оптимизации, м²	0,0693
Параметр сечения 2-х тросов, ЕА, Н	1,39Е+10

Таблица 4
 Оптимизированные параметры двух
 тросов в узле (расчёт по (21))

№ тросов	Вертикальная жёсткость тросов, Н/м
1	4,884Е+09
2	1,221Е+09
3	5,426Е+08
4	2,805Е+08
5	1,903Е+08
6	1,323Е+08
7	9,728Е+07
8	7,858Е+07
9	6,946Е+07
10	6,547Е+07
11	6,401Е+07
12	6,265Е+07
13	6,135Е+07

Таблица 5
 Результаты оптимизации изгибающих
 моментов в балке жёсткости сооружения
 [разработано авторами]

Параметр	До оптимизации	После оптимизации
Минимальный момент (модуль), кНм	48 586	34 665
Максимальный момент, кНм	247 692	40 547

Зададим $v(x)$ на первой части участка переменной жёсткости такое, чтобы $|M(x)|$ не превышал некоторого предельного момента M_{Π} , то есть $|M(x)| \leq M_{\Pi}$, $x \in (0; x_1)$. Тогда для учёта этого требования будем управлять функцией $M_1(x)$ и примем её равной $M_1(x) = M_n - \frac{qd^2}{12} = const$, где d – расстояние между узлами прикрепления тросов, на участке x_1 (рис. 8). В этом случае $v(x)$ является дугой окружности $v(x) = -\sqrt{R_1^2 - x^2} + R_1$, $0 < x < x_1$.

Зададим $v(x)$ на второй части участка переменной жёсткости аналогично первому, но с отрицательной кривизной. Для учёта требо-

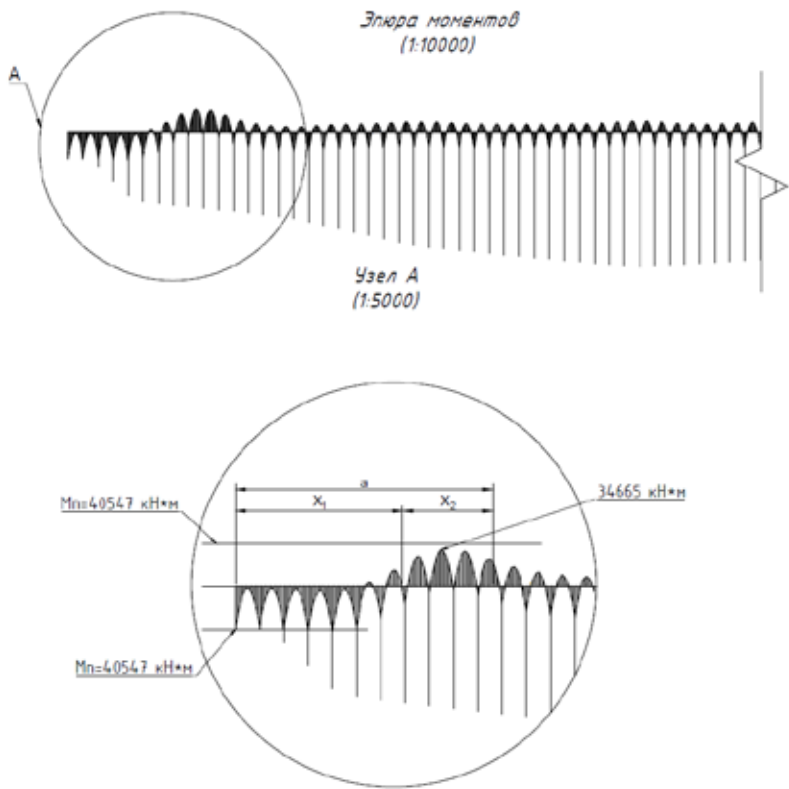


Рис. 12. Эпюра моментов при тросах переменной жёсткости [разработано авторами].

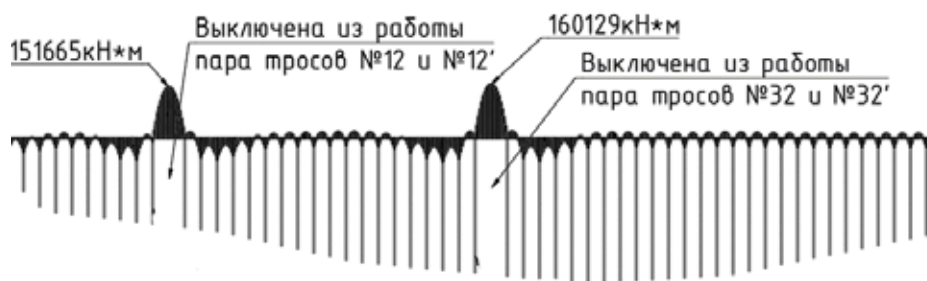


Рис. 13. Перераспределение усилий в аварийной ситуации выхода из строя одновременно двух анкерных тросов в каждом сечении [разработано авторами].

вания $|M(x)| \leq M_{\Pi}$, $x_1 < x < x_2$, примем $|M_1(x)| = M_{\Pi} - \frac{q d^2}{12}$.

a – длина участка переменной жёсткости $a = x_1 + x_2$, где x_1 и x_2 – длина первой и второй частей участка переменной жёсткости.

Как известно⁵, $\frac{1}{R} = \frac{M}{EJ}$, отсюда найдём R_1

для заданного момента $M_1(x)$:

$$R_1 = \frac{EJ}{M_1}, \quad (13)$$

где $R_1 = \frac{EJ}{M_{1x1}}$ – радиус кривой на первом участ-

ке. (14)

Соответственно, $R_2 = \frac{EJ}{M_{1x2}}$ – радиус кривой

на втором участке. (15)

Отсюда

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{M_{1x1}}{M_{1x2}} = P. \quad (16)$$

Покажем, что $R_1/R_2 = x_1/x_2$.

Построим (рис. 11) два вертикальных отрезка АВ и DE, которые параллельны. ВС и СЕ лежат на одной прямой, так как С – точка касания двух окружностей. Из того, что АВ || DE, следует, что внутренние накрест лежащие углы ϕ равны, причем ϕ – центральный угол для полухорд x_1 и x_2 . Треугольники ABC и CDE – равнобедренные, причём стороны BC/CE = BA/DE = $1/R_2$.

Поэтому, треугольники ABC и CDE подобны ввиду пропорциональности двух пар сторон и равенства углов между ними. Теперь рассмотрим треугольники FBC и CGE. Эти треугольники также подобны, так как равны все соответствующие углы треугольников. Следовательно:

⁵ Смирнов А. Ф., Александров А. В., Монахов Н. И. Сопротивление материалов: Учебник / Под. Ред. А. Ф. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1975. – 480 с. [Электронный ресурс]: <https://bigenc.ru/b/soprotivlenie-materialov-b78c1d?ysclid=lmudtw94vu826302865>. Доступ 25.05.2023.

$$R_1 / R_2 = x_1 / x_2 = M_{1x1} / M_{1x2} = P. \quad (17)$$

При этом значения M_{1x1} и M_{1x2} определяем из соображений предельных значений M_{Π} (см. выше).

Итак, функция деформированной оси сооружения в припортовой зоне имеет вид:

$$v(x) = -\sqrt{R_1^2 - x^2} + R_1, \quad x \in (0; x_1), \quad (18)$$

$$v(x) = \sqrt{R_2^2 - (x - a)^2} + R_2, \quad x \in (x_1; a), \quad (19)$$

где $x_1 = \frac{a(x)}{1 + P}$,

$$a(x) = \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{h(x) dq}{EA(1 + P)} - R_1 \right)^2 (P + 1)}, \quad (20)$$

A – постоянная площадь сечения троса до оптимизации.

Зная функцию прогиба (18) и (19), найдём требуемую жёсткость закрепления тросами для снижения краевого эффекта:

$$r_i(x) = \frac{EA(x)}{l(x)} = \frac{dq}{v(x)}. \quad (21)$$

Верификация метода оптимизации

С целью верификации метода оптимизации сооружения по минимуму изгибающего момента в балке жёсткости сооружения производился численный эксперимент с помощью программного комплекса Катран на основе метода конечных элементов. В рассмотренной схеме тросы располагаются парами вдоль тоннеля с шагом 30 м, глубина водной преграды до 300 м, ширина 2,5 км. Площадь сечения всегда можно обеспечить набором параллельных тросов. Параметры троса, расположенного вертикально в продольной проекции, до оптимизации указаны в табл. 3. Ограничим значение максимального по модулю момента до 40547 кНм.

Найдём необходимую жёсткость тросов на участке переменной жёсткости по формуле (21). Оптимизированные параметры тросов



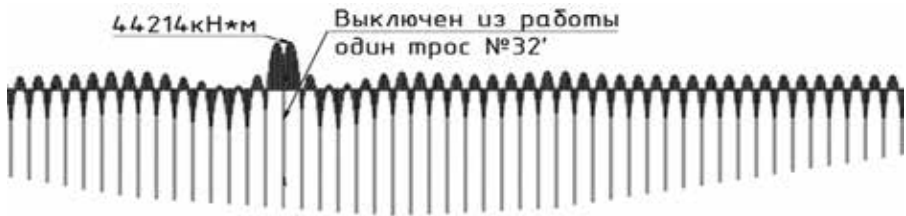


Рис. 14. Перераспределение усилий в аварийной ситуации выхода из строя одного анкерного троса [разработано авторами].

Таблица 6
Изменения продольных усилий в тросах в двух вариантах аварийной ситуации
[разработано авторами]

Номер троса	№ 31	№ 32	№ 33
Усилие до обрыва, кН	7313	7314	7318
Усилие после обрыва двух тросов, кН	9499	-	9477
Усилие после обрыва одного троса, кН	7890	10765	7888

приведены в табл. 4. На рис. 11 приведена эпюра моментов в балке жёсткости сооружения. Как видно из сравнения эпюр до оптимизации (рис. 8) и после оптимизации (рис. 12), краевой эффект от берегового закрепления балки жёсткости значительно уменьшен.

Очевидно, что в случае значительной требуемой площади сечения будут применяться тросовые пакеты или иные конструкции.

В табл. 5 показаны сравнительные параметры напряжённо-деформированного состояния (изгибающие моменты) до и после оптимизации по предложенному методу. Как видно из табл. 5, максимальный момент снижен более чем в 6 раз, минимальный момент – более чем в 1,4 раза. Из таблицы видно, что максимальное значение изгибающего момента не превышает заданное ограничение 40547 кНм.

Живучесть сооружения

Живучесть – свойство объекта сохранять работоспособность при наличии дефектов или повреждений определённого вида, а также при отказе некоторых компонентов⁶. Рассмотрим два случая выхода из строя отдельных тросов анкерного закрепления балки жёсткости сооружения вследствие разруше-

ния анкерного закрепления, обрыва двух тросов или одного троса. Первый расчётный случай представляется маловероятным ввиду расположения анкеров на дне на расстоянии не менее девяти метров (диаметр одиночной балки однопутного сооружения) при вертикальных анкерных тросах. В действительности в поперечной проекции тросы имеют наклон для обеспечения поперечной устойчивости балки при действии временных нагрузок (колебания подвижного состава, течения, воздействие поверхностных волн). Это ведёт к еще большему расстоянию между анкерами, а, значит, к снижению вероятности разрушения двух анкерных закреплений балки одновременно. Выход (обрыв) одновременно двух тросов маловероятен, но заслуживает рассмотрения.

В первом случае происходит перераспределение изгибающих моментов, показанное на рис. 13. Как видно из сопоставления рис. 8 и рис. 13, изгибающие моменты возрастают почти в десять раз. Отметим, однако, что увеличение изгибающего момента приблизительно одинаковое в разных узлах закрепления и не зависит от глубины (длины тросов). Таким образом, унификация сборочных секций балки жёсткости, достигнутая в первом подразделе выше, сохраняется, даже если производить расчёт прочности в этой аварийной ситуации. Перегрузки, связанные с выходом из строя анкерных тросов, остаются локальными (рис. 13). Отметим также, что ввиду противоположного направления равнодействующей постоянных нагрузок и временной нагрузки от подвижного со-

⁶ ГОСТ Р 27.102-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Термины и определения. [Электронный ресурс]: https://hseblog.ru/kb/document/3094/files/12625/ГОСТ%20Р%2027.102–2021%20Надежность%20в%20технике.%20Надежность%20объекта.%20Термины%20и%20определения_Текст.pdf?ysclid=lmug1h8vsb527543341. Доступ 25.05.2023.

става, присутствие подвижного состава уменьшит перегрузки. Таким образом даже в случае рассматриваемой аварийной ситуации движение полностью можно не останавливать. Важным представляется возможность обеспечения прочности балки и в этой аварийной ситуации из-за её значительной высоты, превышающей девять метров, для соблюдения внутреннего габарита приближения строений.

Второй расчётный случай, связанный с выходом одного из анкерных тросов, представляется более вероятным. В этом случае (рис. 14) изгибающие моменты возрастают в значительно меньшей степени, чем в первом расчётном случае. Отрицательный момент возрастает приблизительно в 2,6 раза в сравнении со штатной ситуацией (рис. 8).

Изменение продольных усилий в анкерных тросах в аварийных ситуациях показано в табл. 6. В случае обрыва одновременно двух тросов усилия в соседних тросах возрастают на 30 %, при обрыве одного троса усилие в оставшемся тросе из пары – на 47 %. И в этом случае при появлении подвижного состава перегрузки тросов будут уменьшаться, то есть аварийная ситуация позволит продолжить движение поездов.

При учёте указанных перераспределений внутренних усилий живучесть сооружения будет обеспечена.

ВЫВОДЫ

В статье обоснована работоспособность подводного плавающего транспортного сооружения. Разработан инженерный метод оптимизации изгибающих моментов в балке жёсткости подводного плавающего сооружения, позволяющий в несколько раз снизить изгибающие моменты в зонах припортовых участков, а также значительно снизить изгибающие моменты на глубоководных участках с веерным закреплением анкерных тросов. Такое решение позволяет применять при строительстве унифицированные секции балки жёсткости сооружения.

Живучесть сооружения может быть обеспечена как в случае выхода из строя одного, так и двух анкерных тросов, при этом нагрузка от поезда снижает перегрузки от постоянных нагрузок ввиду противоположного направления равнодействующей постоянных нагрузок и временной нагрузки от подвижного состава, то есть присутствие подвижного состава уменьшит перегрузки. Таким образом, даже в случае рассматриваемой аварийной ситуации движение полностью можно не останавливать.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Поляков В. Ю., Хорев И. В., Демидов И. М. Современные подходы к исследованию и разработке подводных плавающих сооружений // Транспортные сооружения. – 2022. – Т. 9. – № 3. – Ст. 7. DOI: 10.15862/08SATS322.
2. Винокуров М. А., Суходолов А. П. Экономика Иркутской области: В 3 т. – Иркутск: Изд-во БГУЭП (ИГЭА), 2002. – Т. 3. – 432 с. ISBN: 5-7253-0677-1. [Электронный ресурс]: <https://opac.nsuem.ru/mm/2015/000212732.pdf>. Доступ 27.05.2023.
3. Maeda, N., Morikawa, M., Ishikawa, K., Kakuta, Y. Study on structural characteristics of support systems for submerged floating tunnel. Proceedings of the 3rd Symposium on Strait Crossings, Ålesund, Norway, 1994, pp. 579–674. [Электронный ресурс]: <https://www.gbv.de/dms/tib-ubhannover/193950901.pdf>. Доступ 25.04.2023.
4. Martinelli, L., Barbella, G., Feriani, A. Modeling of Qiandao Lake submerged floating tunnel subject to multi-support seismic input. Procedia Engineering, 2010, Vol. 4, pp. 311–318. DOI: 10.1016/j.proeng.2010.08.035.
5. Mazzolani, F., Landolfo, R., Faggiano, B., Esposto, M., Martire, G., Perotti, G. Structural Analyses of the Submerged Floating Tunnel Prototype in Qiandao Lake (PR of China). International Journal Advances in Structural Engineering, 2008, Vol. 11, Iss. 4, pp. 439–454. DOI: 10.1260/136943308785836862.
6. Skopra, L. Innovative norwegian fjord crossing. How to cross the Høgsjord, alternative methods. Proceedings of the 2nd Congress AIOM (Marine and Offshore Engineering Association), Naples, Italy, 1989. [Электронный ресурс]: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/ref/2017/52/mateconf_eacef2017_02026/mateconf_eacef2017_02026.html. Доступ 25.04.2023.
7. Bruschi, R., Giardinieri, V., Marazza, R., Merletti, T. Submerged Buoyant Anchored Tunnels: Technical Solution for the Fixed Link across the Strait of Messina Italy. Proceedings of the 2nd Symposium on Strait Crossings. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1990, pp. 605–612.
8. Jin, Chungkuk, Kim Hansung. Dynamic Responses of a Submerged Floating Tunnel in Survival Wave and Seismic Excitations. Proceedings of the 27th International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, 25–30 June 2017. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017, pp. 547–551. DOI: 10.12989/OSE.2017.7.1.001. ●

Информация об авторах:

Демидов Иван Михайлович – аспирант кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта, Москва, Россия, dmdvp@rambler.ru.

Поляков Владимир Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта, Москва, Россия, pyu55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023, одобрена после рецензирования 15.11.2023, принята к публикации 17.11.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 624.137.5:624.154
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-5>

Оценка влияния строительства армогрунтовых подпорных стен на фундаменты устоев раздельного типа



Михаил Тарасович Збрыський

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия.

✉ Zmt.work@mail.ru.

Михаил ЗБРЫСЬКИЙ

АННОТАЦИЯ

В последнее время все чаще находит своё применение строительство устоев раздельного типа с применением армогрунтовых подпорных стен. Но данные конструкции проектируются отдельно друг от друга, зачастую даже разными организациями. Цель данной работы состояла в том, чтобы определить влияние строительства армированных грунтовых подпорных стен на свайные фундаменты первой опоры. Основной решаемой задачей было выявление зависимости роста неблагоприятного влияния от высоты насыпи, влияния длины свай, заглубления, возможностей использования нелинейных моделей и видов постановки.

Комплексное моделирование в плоской и пространственной постановках показали необходимость учёта влияния при проектировании свайных фундаментов негативного воздействия дополнительных горизонтальных, вертикальных перемещений, а также изгибающих моментов и продольных усилий. При проведении исследования был зафиксирован фактор появления негативного трения, механизм которого требует отдельного изучения.

Основной вывод исследования состоит в необходимости разработки комплексной оценки влияния строительства армированных грунтовых подпорных стен на свайные фундаменты устоев.

Ключевые слова: транспортное строительство, свайные фундаменты, армированные грунтовые подпорные стены, оценка влияния, негативное трение, расчётная модель, армогрунт, устой раздельного типа.

Для цитирования: Збрыський М. Т. Оценка влияния строительства армогрунтовых подпорных стен на фундаменты устоев раздельного типа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-5>.

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

ВВЕДЕНИЕ

С точки зрения технологии строительного производства при возведении устоя моста с раздельными функциями рационально сначала забить сваи, а затем возводить армированную грунтовую подпорную стенку (далее АГПС).

Расчёт АГПС зачастую выполняется компаниями-производителями геосинтетических материалов (к ним относятся, в частности, такие фирмы, как Massaferrì, Tensar, Huesker и др.). Для проектирования необходимо выполнить расчёты, позволяющие определить необходимые размеры, количество армирующих элементов и оптимальное расстояние между ними. После чего производятся проверки на внешнюю и внутреннюю устойчивость, опрокидывание, плоский сдвиг, деформации [1, С. 168; 2, С. 70; 3, С. 57; 4, С. 146].

Проектирование и расчёт конструкции устоя раздельной функции в свою очередь ведётся без учёта активного давления подходящей к мосту или путепроводу насыпи.

Таким образом, в настоящее время данные расчёты выполняются независимо друг от друга, разными отделами или организациями. Данное разделение исключает возможность комплексной оценки совместной работы элементов мостового сооружения. Наиболее неблагоприятно это сказывается на фундаментах первой опоры, которые в большинстве случаев являются свайными, претерпевающими горизонтальные и вертикальные перемещения, а также подвергающимися воздействию дополнительных усилий.

В данном исследовании были проведены совместные расчёты «фундамент-основание», относящиеся как к свайному фундаменту устоя, так и к влияющей на него армогрунтовой насыпи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно закономерностям механики грунтов, проектирование фундаментов необходимо осуществлять с учётом их взаимного влияния друг на друга^{1,2}. В то же время в действующих нормативных документах данные

проверки (оценка влияния) сводятся только к расчётам дополнительных деформаций уже существующей окружающей застройки, которые ограничиваются определёнными максимальными значениями в зависимости от технического состояния. В мостостроении данных предельных значений не установлено, не считая относящихся к высоким жёстким сооружениям и трубам, соответственно определять влияние от АГПС на уже существующий свайный фундамент устоя в рамках норм не требуется.

Кроме того, например, в работе [5, С. 19] указывается на возможность возникновения негативного трения на боковой поверхности существующих свайных фундаментов, вызванного касательными напряжениями в грунте, вблизи области загрузки. Учёт подобных дополнительных воздействий на здания и сооружения, попадающих в зону влияния нового строительства, в современной практике проектирования практически не производится.

В своих работах Н. М. Глотов и соавторы³ [6, С. 90] обращают внимание на появление дополнительных горизонтальных напряжений от возведения подходной насыпи в результате возникновения в грунте вертикальных напряжений от веса насыпи и предлагают метод учёта этого явления. Аналогичный учёт приводится в действующих нормативных документах, но только для примыкающей к устою подходной насыпи⁴. Соответственно, если насыпь не примыкает, то такие проверки не требуются и не делаются.

В мостостроении широко используется модель упругого основания Фусса-Винклера [7, С. 42; 8, С. 49] и дальнейшие ее модификации. При этом грунт представляется определённым набором пружин с пропорциональной жёсткостью, в то время как сваи моделируются стержневыми элементами. Очевидно, что данная модель не подходит для подобной задачи. Решение задач в мостовом строительстве редко выполняется в специализированных геотехнических программах, таких как PLAXIS, MIDAS GTS/FEA NX, Z-SOIL и других.

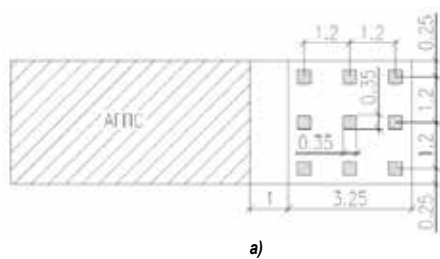
¹ Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В. и др. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 528 с. – С. 129. ISBN 5-87829-003-0.

² Далматов Б. И., Бронин В. Н., Карлов В. Д., Мангушев Р. А. и др. Основания и фундаменты. Ч. 2. Основы геотехники: Учебник. – М.: Изд-во АСВ; СПбГАСУ, 2002. – 392 с. – С. 336. ISBN 5-93093-140-2.

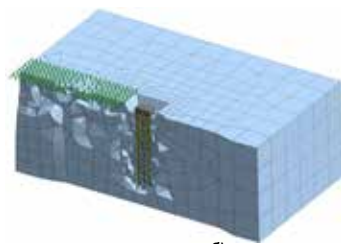
³ Глотов Н. М., Соловьев Г. П., Файнштейн И. С. Основания и фундаменты мостов: Справочник / Под ред. К. С. Силина. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с. ISBN 5-277-00886-1.

⁴ СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. С. 233 [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849?ysclid=lmroclnp1o408250369>. Доступ 17.05.2023.





а)



б)

Рис. 1. Конечно-элементная модель: а) схема расчётного случая; б) пространственная конечно-элементная схема [разработано автором].

Чтобы показать неприменимость устоявшихся принципов проектирования, была выбрана программа, реализующая метод конечных элементов MIDAS FEANX. Для конструктивных элементов, имеющих переменные параметры (шаг свай, размер сечений и т. д.), рекомендуется использовать трёхмерные расчётные схемы, что значительно усложняет процесс моделирования и трудозатраты инженера.

В настоящей работе были проведены численные исследования в следующих вариациях:

- плоская задача с использованием упругопластической модели Мора-Кулона;
- плоская задача с использованием упругопластической модели упрочняющегося грунта [Hardening Soil] [9, С. 281; 10, С. 13];
- объёмная задача с использованием упругопластической модели Мора-Кулона;
- объёмная задача с использованием упругопластической модели упрочняющегося грунта.

В двумерной постановке моделирование свай отдельными сетками конечных элементов (элементами плоской деформации) возможно только с учётом приведённой жёсткости, использование данного метода является не совсем корректным. Ввиду этого использовались специальные балочные элементы с заданным предельным сопротивлением по боковой поверхности и под пятой свай.

В трёхмерной модели сваи моделировались с помощью твердотельных конечных элементов (КЭ), а получение усилий осуществлялось при помощи виртуальной балки [Virtual beam], которая интегрирует полученные в КЭ напряжения по объёму сваи, а взаимодействие сваи с грунтом учитывается путём введения интерфейсных элементов [11, С. 34; 12, С. 19; 13, С. 26; 14, С. 36]. Конечно-элементная модель показана на рис. 1 б).

Геологические условия представлены одним слоем песка средней крупности, средней плотности, который имеет следующие физико-

механические параметры: $p=19,5$ кН/м³; $e=0,66$; $c=1$ кПа; $\varphi=35^\circ$; $E=27$ МПа; $P_{ref}=100$ кПа; $v_{ur}=0,28$; $E_{50}=15,7$ МПа; $E_{oed}=13,5$ МПа; $E_{ur}=122,3$ МПа; $m=0,49$; $K_0^{nc}=0,4$.

Принимаем, что конструкция АГПС устойчива и ее можно заменить на эквивалентную расчётную вертикальную нагрузку.

Удельный вес грунта насыпи принимается за 18 кН/м³, расстояние от края насыпи до края ростверка – 1 метр. Очевиден тот факт, что чем дальше расположена подпорная стенка, тем меньшее воздействие будет оказано на фундамент. Стоит также отметить, что встречаются проекты, в которых примыкание АГПС к ростверку осуществляется практически впритык.

Высота насыпи изменялась от 6 до 13 метров, данные высоты являются типовыми в схожих проектах. Ростверк размерами 3,25 x 3,25 x 1,20 м содержит девять свай с шагом 1,2 м в продольном и поперечном направлении (рис. 1 а). Сваи варьировались по высоте от 7 до 15 метров сечением 35 x 35 (С7.35-С15.35). Заглубление от уровня поверхности до 1,7 метров.

Расчёт выполнялся с учётом стадийности возведения насыпи с отсыпкой по одному метру. Деформации стадий без участия дополнительной нагрузки от АГПС были обнулены.

Были проведены численные вычисления, в которых изменялись следующие параметры: размер расчётной модели, длина свай, заглублённый и незаглублённый ростверк, различие в физической нелинейности моделей грунтов (использование разных математических моделей для описания поведения грунтов).

Влияние насыпи на фундамент проявляется в виде следующих факторов:

- дополнительные горизонтальные перемещения фундамента;
- дополнительные вертикальные перемещения фундамента;
- дополнительные изгибающие моменты в сваях;

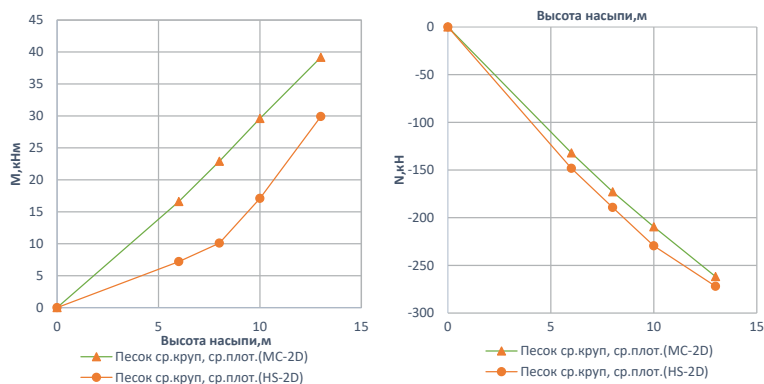


Рис. 2. Дополнительные внутренние усилия в сваях С15.35 [разработано автором].

- дополнительные продольные усилия в сваях;
- возникновение негативного трения на сваях.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходя из анализа было выявлено, что основными параметрами, влияющими на получаемые результаты, являются:

- размеры расчётной области по вертикальной оси;
- длина свай;
- заглубление ростверка;
- тип постановки (плоская/пространственная);
- математическая модель, описывающая поведение грунта (Кулона-Мора / Hardening Soil); последняя модель наиболее корректно отражает поведение грунта при взаимодействии со свайей⁵.

Анализ результатов в плоской постановке

При увеличении расчётной модели абсолютные значения горизонтальных перемещений увеличиваются, а максимальное значение смещается ниже к краю расчётной модели. Применение упругопластической модели упрочняющегося грунта минимизирует этот фактор, но не отменяет его. Разница в дополнительных изгибающих моментах может достигать до 40 %. В сваях меньшей длины дополнительные изгибающие моменты больше, а продольные усилия меньше. Ввиду незначительных значений изгибающих моментов стоит уделить большее внимание продольным

усилиям, что говорит о том, что сваи большей длины подвержены большему влиянию. При увеличении глубины заложения ростверка изменяется распределение давления на ростверк и сваи, в результате уменьшаются как моменты, так и продольные силы. Полученные зависимости перемещений и усилий в сваях от модели грунта показаны на графиках (рис. 2 и 3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что упругопластическая модель упрочняющегося грунта показывает заметное уменьшение изгибающих моментов и горизонтальных перемещений по сравнению с моделью Кулона-Мора, в то время как продольные усилия и дополнительные осадки остаются в одинаковых пределах.

При выполнении исследования был зафиксирован фактор появления «негативного трения» на боковой поверхности свай мостовой опоры. Отрицательное трение возникает в результате того, что осадка грунта свайного фундамента под действием влияния строительства АГПС больше, чем осадка самого фундамента (рис. 4 а, б, в). В этом случае грунт около свай нависает на них, а дополнительная нагрузка прибавляется к внешней нагрузке, приложенной к сваям. Согласно правилам расчета несущей способности, касательные силы, действующие в сторону направления осадки, требуется брать со знаком «-». Данный фактор оказывает существенное влияние на несущую способность и приводит к увеличению продольных сил [15, С. 1425; 16, С. 48; 17, С. 196]. По характеру эпюры касательных напряжений в свайных интерфейсах видно, что MIDAS FEАNX учитывает негативное трение. На рис. 4 в видно, что негативное трение от давления насыпи действует только до опреде-

⁵ Мельников Р. В. Использование метода конечных элементов в геотехнике: Учеб. пособие. – М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 188 с. ISBN 978-5-9729-0697-0.



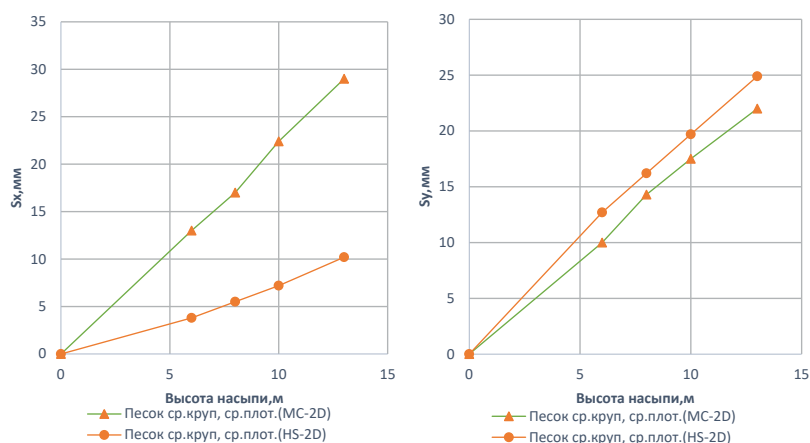


Рис. 3. Дополнительные перемещения в сваях С15.35 [разработано автором].

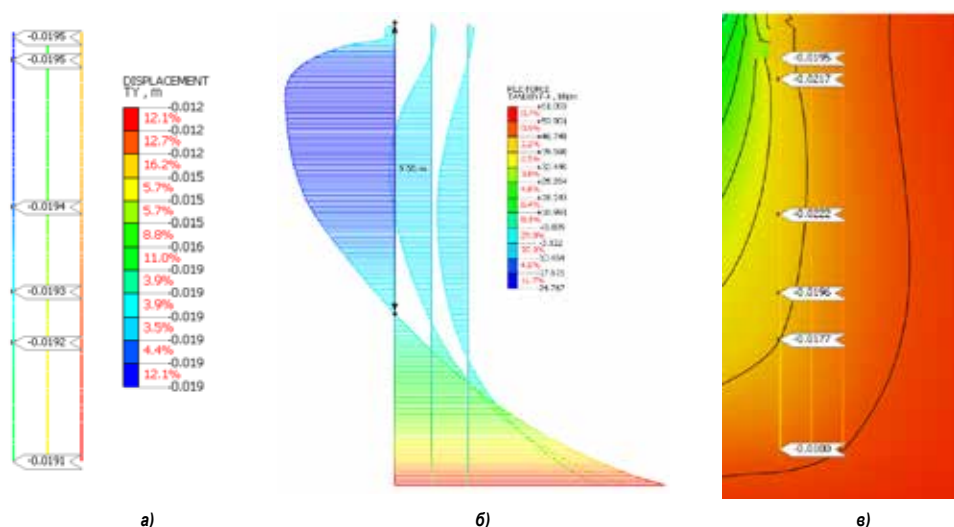


Рис. 4. а) осадка грунтового массива, б) осадка свайного фундамента, в) касательные напряжения в свайных интерфейсах [результаты расчёта в MIDAS FEA NX, разработано автором].

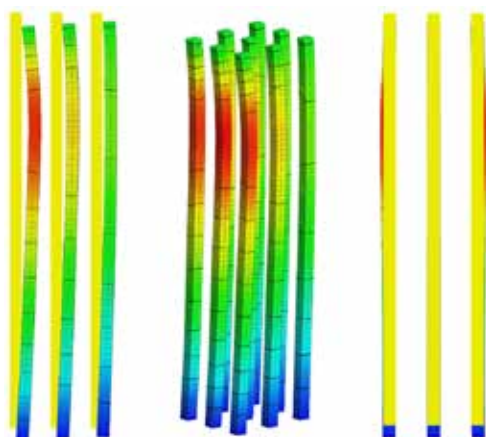


Рис. 5. Деформированный вид свайного фундамента [результаты расчёта в MIDAS FEA NX, разработано автором].

лённой глубины – «нейтральной оси», положение которой можно определить из численного расчёта. В специализированных программных комплексах данное явление учитывается автоматически, в аналитических же расчётах или при использовании других способов решения данный фактор требуется учитывать вручную.

Анализ результатов в пространственной постановке

В результате проведённых численных экспериментов в трёхмерной постановке было установлено, что поведение свайного фундамента под влиянием строительства АГПС намного сложнее и требует тщательного анализа в каждом отдельном случае. На рис. 5

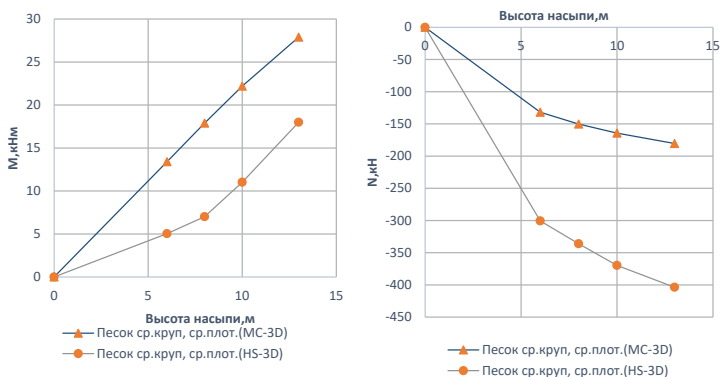


Рис. 6. Дополнительные внутренние усилия в сваях C15.35 [разработано автором].

изображены деформации свайного фундамента. На рис. 6 и 7 представлены полученные зависимости перемещений и усилий в сваях от модели грунта в пространственной постановке.

Отчётливо видно, что дополнительный изгиб наблюдается только на 1/3 длины сваи, при этом большему изгибу подвержены сваи переднего ряда, что является интуитивно понятным, исходя из распространения дополнительных напряжений в массиве грунта. Движение массива грунта в межсвайном пространстве приводит к изгибу крайних свай в другой проекции, что говорит о сложном напряжённо-деформированном состоянии фундамента опоры.

Полученные зависимости демонстрируют значительное расхождение в результатах между используемыми моделями поведения грунта, что требует отдельного исследования.

В пространственной постановке изменение высоты расчётной модели не оказывает существенного влияния на получаемые результаты. Значения изгибающих моментов уменьшаются по сравнению с плоской задачей.

Продольные усилия, напротив, увеличиваются. Данный эффект можно объяснить тем, что более точно описывается поведение свай по боковой поверхности, так как моделируется весь твердотельный объём, а программный комплекс определяет касательные силы, реализующиеся по боковой поверхности, в автоматическом режиме. Абсолютные значения перемещений снизились.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные результаты можно суммировать и вынести на обсуждение в виде следующих заключений.

1. Влияние на свайное основание устоя от строительства АГПС выражается в дополнительных изгибающих моментах, продольных усилиях, вертикальных и горизонтальных перемещениях.

2. При строительстве рядом со свайным фундаментом АГПС большой высоты может возникнуть негативное трение по боковой поверхности свай, что может привести к снижению несущей способности свай по грунту.

3. Балочные конечные элементы являются идеализированными моделями, и их сечение

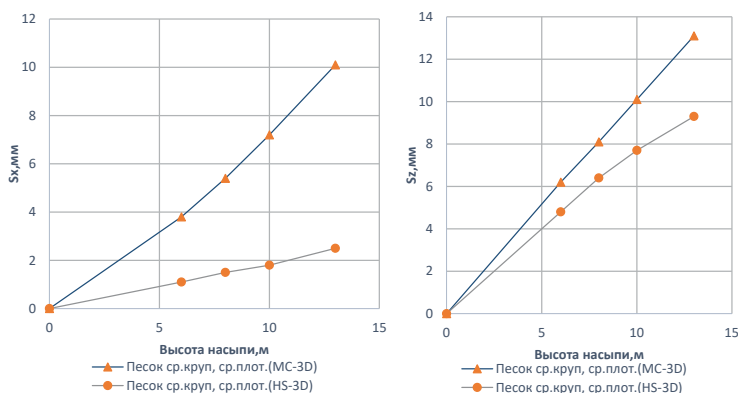


Рис. 7. Дополнительные перемещения в сваях C15.35 [разработано автором].





учитывается не совсем корректно, из-за этого продольные усилия могут быть определены не корректно.

4. Дополнительные внутренние усилия зависят от используемой модели поведения грунта.

5. Высота расчётной модели влияет на получаемые результаты в плоской постановке и практически не влияет в пространственной.

6. При проектировании устоя с раздельными функциями требуется совместно вести расчёт и проектирование АГПС и фундамента устоя.

Разделение на два независимых расчёта может привести к получению некорректных результатов и повреждению фундаментов в будущем, что существенно снизит безопасность и надёжность мостового сооружения. Для того чтобы избежать подобных проблем, при проектировании необходимо учитывать влияние подпорных стен на свайные фундаменты. Для решения данной проблемы необходимо обеспечить координацию между специалистами, занимающимися расчётами фундамента устоя и АГПС.

В целом, правильное проектирование фундаментов и подпорных стен является одним из важнейших аспектов в создании надёжных и безопасных сооружений. Для этого необходимо учитывать все возможные факторы влияния и производить проектирование с их учётом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соколов А. Д. Армогрунтовые системы автодорожных мостов и транспортных развязок: Монография. – СПб.: ООО Отраслевая медиа-корпорация «Держава», 2013. – 504 с. ISBN 978-5-7937-0901-0.
2. Тарасов А. А. Проектирование мостовых устоев из армированного грунта // Строительная механика и конструкции. – 2012. – № 2 (5). – С. 70–76. EDN: RJERYR.
3. Зернина Е. В. Расчёт армогрунтовой подпорной стенки для обеспечения устойчивости склона // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. – Т. 1. – С. 57–64. EDN: QGVUDT.
4. Шапиро Д. М., Тарасов А. А. Расчет устойчивости устоев и конусов мостовых сооружений // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 2 (26). – С. 146–153. EDN: OXPZDT.
5. Сотников С. Н., Симагин В. Г., Вершинин В. П. Проектирование и возведение фундаментов вблизи су-

ществующих сооружений / Под ред. С. Н. Сотникова. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с. [Электронный ресурс]: <https://djvu.online/file/QJwy7yYkzzFGH?ysclid=lmronkdpaf472884850>. Доступ 18.05.2023.

6. Глотов Н. М., Луга А. А., Силин К. С., Завриев К. С. Свайные фундаменты. – М.: Транспорт, 1975. – 432 с. [Электронный ресурс]: <https://elima.ru/books/?id=1982&ysclid=lmro8al8w147138415>. Доступ 18.05.2023.

7. Нуждин Л. В., Михайлов В. С. Методы построения моделей и расчета системы «свайный фундамент – грунтовое основание» в SCAD Office и Smath Studio // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 5 (737). – С. 42–52. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-737-5-42-52.

8. Шапиро Д. М. Теория и расчётные модели оснований и объектов геотехники: Монография. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2012. – 164 с. ISBN 978-5-905654-70-1.

9. Sharma, V. J., Vasanvala, S. A., Solanki, C. H. Behaviour of Load-Bearing Components of a Cushioned Composite Piled Raft Foundation Under Axial Loading. Slovak Journal of Civil Engineering, 2014, Vol. 22, Iss. 4, pp. 25–34. DOI: 10.2478/sjce-2014-0020.

10. Schanz, T., Vermeer, P. A., Bonnier, P. G. The hardening soil model: Formulation and verification. In: Beyond 2000 in Computational Geotechnics. Balkema, Rotterdam, 1999, pp. 281–296. DOI: 10.1201/9781315138206-27.

11. Захарова Т. М., Черепанов Б. М. Обзор программных комплексов Midas GTS NX и PLAXIS 3D для решения проектных задач при расчете свайных фундаментов // Ползуновский альманах. – 2023. – № 1. – С. 34–37. EDN: IHOQLI.

12. Купчикова Н. В., Сычков А. Н. Результаты численного анализа системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание» с помощью «MIDAS GTS NX» // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1 (35). – С. 19–24. EDN: SZIVGB.

13. Фадеев А. Б. Параметры модели упрочняющегося грунта программы «Plaxis» // Численные методы расчетов в практической геотехнике: Сб. статей международной научно-техн. конференции. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 398 с. – С. 13–20. ISBN 978-5-9227-0318-5.

14. Алехин В. С. Взаимодействие свай в составе групп и определение предельного сопротивления основания / Дисс... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2020. – 147 с.

15. Znamenskii, V. V., Hegazy, O. M. A comparative study of ordinary piles and superlong piles in consolidating soil. Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol. 1425, Iss. 1, art. 012071. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012071.

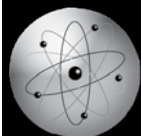
16. Акопян В. Ф., Кондрик И. В., Самсонов О. В. Моделирование отрицательных сил трения при реализации просадочных свойств грунта. // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1. – С. 48–54. [Электронный ресурс]: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_40_akopyan_kondrik_samsonov.pdf_a673c493e.pdf. Доступ 29.07.2023.

17. Знаменский В. В., Ле Тхюй Зьонг. Влияние процесса водопонижения на развитие сил отрицательного трения по боковой поверхности свай // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 4. [Электронный ресурс]: <https://www.innovazia.ru/upload/iblock/f3b/se3tpz3oxz7i2tm8uat40hz9mee9c1lu/%E2%84%964%202022%20%D0%98%D0%B8%D0%98.pdf> [полный текст выпуска]. Доступ 29.07.2023. ●

Информация об авторе:

Збрыський Михаил Тарасович – магистрант кафедры механики грунтов и геотехники Московского государственного строительного университета, Москва, Россия, Zmt.work@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023, одобрена после рецензирования 13.10.2023, принята к публикации 15.11.2023.



О взаимосвязи крутильных колебаний и опрокидывающего момента судовых дизелей



Дмитрий ПОПОВ



Вячеслав ЕПИФАНОВ



Владислав ЗЯБРОВ

Дмитрий Александрович Попов¹, Вячеслав Сергеевич Епифанов², Владислав Александрович Зябров³

^{1, 2, 3} Академия водного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ porov.dmitry88@mail.ru.

¹ SPIN-код: 4265-4183, Author ID: 1119329.

² SPIN-код: 5428-9215, Author ID: 1118887.

³ SPIN-код: 1021-3360, Author ID: 730838.

АННОТАЦИЯ

Проведён обзор условий, при которых необходим расчёт крутильных колебаний и учитываемых при их расчёте возмущающих моментов в судовых двигателях. Проведён анализ влияния крутильных колебаний на опрокидывающий момент двигателя. Проиллюстрирована схема сил, возникающая в кривошипно-шатунном механизме двигателя от крутильных колебаний. Представлены формулы для расчёта опрокидывающего момента от крутильных колебаний коленчатого вала многоцилиндрового двигателя и суммарного опрокидывающего момента. Даны рекомендации о необходимости учёта влияния мо-

ментов от крутильных колебаний на неравномерность вращения и вибрации двигателя.

Для установки ДГР А 100/750 эффективной мощностью 100 кВт при номинальных оборотах 750 об/мин с двигателем 6Ч 18/22 приведены результаты ранее сделанного исследования расчёта суммарного момента двигателя с учётом влияния крутильных колебаний.

По результатам проведённого анализа даны предложения о необходимости учитывать моменты, возникающие от крутильных колебаний, при диагностировании двигателя.

Ключевые слова: водный транспорт, крутильные колебания, судового двигателя, опрокидывающий момент, валопровод, судовая энергетическая установка.

Для цитирования: Попов Д. А., Епифанов В. С., Зябров В. А. О взаимосвязи крутильных колебаний и опрокидывающего момента судовых дизелей // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-6>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная отрасль в России стремительно развивается. И водный транспорт не исключение. Внедрение на водном транспорте информационных технологий и автоматики позволяет не только улучшить качество управления и контроля параметров, но и обеспечить постоянный мониторинг технического состояния установок.

Этому вопросу посвящён ряд исследований. В частности, отмечается, что для комплексной поддержки судовой энергетической установки (СЭУ) «как объекта высокой надёжности, используются облачные технологии хранения большого массива данных и надёжная связь по защищенным каналам между судном, производителями оборудования и береговыми службами» [1].

Но «при эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) закономерно происходят износ и старение их узлов и агрегатов, неизбежно вызывающие ухудшение показателей машин по экологии, экономике и эффективности» [2].

Для СЭУ безэкипажных судов требования к надёжности, экономичности, живучести и экологичности будут ещё выше. Для автономных судов потребуется развитая система технического обслуживания и диагностики. «В местах остановок автономного флота (порты, рейды) потребуется наличие ремонтно-диагностических бригад для осмотра, диагностики и наладки СЭУ и систем автоматики судна. На маршрутах следования автономных судов потребуется доступ аварийных бригад быстрого реагирования, с использованием вертолетного транспорта» [3].

С ростом нагрузки и снижением металлоёмкости механизмов возрастает значение динамических расчётов системы. По мере увеличения неравномерности крутящего момента наблюдается усиление вибраций двигателя на опорах и возрастание шума в машинном отделении судна.

Крутильные колебания в системе «двигатель-валопровод-движитель» могут создавать реальную опасность. На резонансных режимах работы СЭУ возрастает вероятность усталостного разрушения наиболее нагруженных деталей. Выявление и подавление сильного источника вибраций является не менее важным методом для повышения надёжности СЭУ [4].

Однако, ввиду сложности и дороговизны оборудования для исследования крутильных колебаний, возрастает важность возможности использовать методы косвенного контроля.

Цель исследования – анализ взаимосвязи крутильных колебаний и опрокидывающего момента судовых дизелей.

Задачи исследования: обзор возмущающих моментов при крутильных колебаниях, составление схемы сил и моментов, действующих в кривошипно-шатунном механизме двигателя от крутильных колебаний, расчётное исследование опрокидывающего момента от крутильных колебаний, оценка воздействия опрокидывающего момента от крутильных колебаний на диагностические параметры установки.

Работа выполнена с помощью теоретических *методов* исследования, таких как анализ и синтез, контент-анализ информации из открытых источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Крутильно-колеблющаяся система «двигатель-валопровод-движитель» представляет собой систему соединённых между собой валов. Помимо момента передаваемого потребителю механической энергии и восприятия осевой силы на валопровод действует большое количество дополнительных нагрузок. Особое место среди них занимают крутильные колебания, так как касательные напряжения, возникающие при их резонансе, могут в несколько раз превышать все остальные действующие нагрузки.

На этом основании систему «двигатель-валопровод-движитель» следует отнести к числу наиболее ответственных и нагруженных деталей энергетической установки, несмотря на кажущуюся простоту конструкции.

Впервые крутильные колебания в связи с некоторыми особенностями работы валопровода судовой паросиловой установки были изучены в самом начале XX века, в частности Г. Фрамом [Hermann Frahm]. Однако и в наше время неоднократно наблюдаются поломки валов из-за этого опасного явления.

Крутильные колебания – это такие колебания, при которых все точки системы совершают возвратно-поступательные движения по дугам окружностей вокруг неподвижной оси.

Расчёт системы на крутильные колебания – один из самых сложных и объёмных расчётов при создании или модернизации СЭУ. Согласно правилам надзорных органов, расчёт на крутильные колебания и проверку результатов расчёта путём торсиографирования проводят при переоборудовании, модернизации, восстановлении, обновлении или переклассификации судна¹. Для экспериментального исследования крутильных колебаний используют специальные приборы – торсиографы, в том числе отечественной разработки, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя [5–7]. К условиям, при которых необходимо проводить проверку крутильных колебаний, относят:

- замена главного двигателя установки или изменения параметров и/или конструктивных элементов прежнего двигателя;
- замена маховика или изменение его конструкции;
- замена демпфера/антивибратора крутильных колебаний;
- замена эластичной муфты;
- замена гребного винта или изменение его конструкции;
- установка, замена или изъятие дополнительного приёмника или источника энергии (насос, валогенератор, силовая турбина и т. п.);
- изменение диаметра валов более 2 %;
- изменение параметров антивибрационных соединений;
- установка дополнительных сосредоточенных масс (маховик, муфта и т. п.);
- модернизация агрегата с заменой основных элементов системы.

К моментам, которые учитываются при расчётах крутильных колебаний силовых установок, относятся [8]:

- моменты от сил инерции и тяжести движущихся масс в кривошипно-шатунных механизмах (КШМ) поршневых двигателей;
- моменты от сил давления пара или газов в цилиндрах поршневых двигателей (или воздуха в цилиндрах компрессоров);
- постоянная составляющая крутящего момента, передаваемого от источника к приёмнику энергии (средний крутящий момент);
- переменная составляющая создаваемого гребным винтом крутящего момента,

вследствие неравномерности поля скоростей попутного потока воды (при работе винта за корпусом судна);

- переменная составляющая создаваемого крыльчатým двигателем крутящего момента, обусловленная цикличностью работы лопастей двигателя;
- некоторые другие виды возмущающих моментов, обусловленные особенностями конструкции или неточностью изготовления рассматриваемой установки (карданные соединения валов, неточности изготовления зубчатых соединений).

Но основным источником крутильных колебаний системы являются переменные моменты от действия различных сил в КШМ.

Для расчёта установки на вынужденные крутильные колебания необходимо располагать значениями всех моментов в функции от угла поворота вала.

Источниками вынужденных колебаний судового дизеля на опорах являются: неравномерность опрокидывающего момента от газовых сил и сил инерции, неуравновешенность валопровода, опрокидывающий момент, возникающий при резонансе крутильных колебаний.

Крутящий и опрокидывающий моменты, действующие в КШМ, получаются путем разложения по классической схеме суммарной силы от давления газов и сил инерции движущихся масс КШМ. Этот процесс рассмотрен в разделе кинематики любого учебника по ДВС.

Моменты от крутильных колебаний являются периодическими функциями от угла поворота коленчатого вала (УПКВ).

Возникновение момента от крутильных колебаний описывается следующим образом. Если в некоторый момент времени амплитуда колебания коленчатого вала достигла максимального значения, до которого кривошип поворачивался по дуге окружности против часовой стрелки, затем, когда кривошип в своём колебательном движении поворачивался обратно, каждый раз действует пара равных по величине и противоположно направленных сил T_u , приложенных в точках O и B (рис. 1).

Крутящий момент от крутильных колебаний коленчатого вала возникает от действия пары тангенциальных сил T_u .

В результате разложения одной тангенциальной силы от кривошипа вала, действующей в шатунной шейке, на составляющие

¹ Руководство Р.009-2004 «Расчёт и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов», Российский Речной Регистр, Москва, 2016 г.



$$M_{\text{двкркал}} = A_r \cdot \omega^2 \cdot \sum_{i=1}^n I_i a_i \times \left((k^2 + 1) \times \left(\sin(\phi + \delta_i) - 1, 25\lambda \sin(2(\phi + \delta_i)) \cdot \sin(k\phi + \varepsilon_k) - \right. \right. \\ \left. \left. - k(\cos(k\phi + \varepsilon_k) + \lambda \cos(2(\phi + \delta_i)) \cos(k\phi + \varepsilon_k)) \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{(4 - 3\lambda^2) \sin(\phi + \delta_i) + 2\lambda \sin(2(\phi + \delta_i)) + 2\lambda^2 \sin(3(\phi + \delta_i))}{1 - 0,25\lambda^2(1 - \cos(2(\phi + \delta_i)))} \right) \right), \text{ кН*м} \quad (1)$$

или по упрощённой зависимости:

$$M_{\text{двкркал}} = 0,5 \cdot A_r \cdot \omega^2 k^2 \sin(k\phi + \varepsilon_k) \cdot \sum_{i=1}^n I_i a_i \times \\ \times (1 - \cos(2(\phi + \delta_i)) + K\lambda \sin(\phi + \delta_i) \sin(2(\phi + \delta_i))) , \text{ кН*м} \quad (2)$$

где A_r – резонансная амплитуда крутильных колебаний, рад;

ω – угловая скорость вала, рад/с;

k – порядок гармоники крутильных колебаний;

λ – постоянная КШМ;

I_i – момент инерции КШМ, кг*м²;

a_i – относительная амплитуда i -ой массы крутильных колебаний;

ϕ – угол поворота коленчатого вала;

δ_i – угол заклинка кривошипов;

ε_k – начальная фаза k -й гармоники крутильных колебаний;

K – поправка на влияние постоянной КШМ;

n – число отсеков (цилиндров).

K вдоль кривошипа и $P_{\text{ши}}$ вдоль движущихся деталей шатунно-поршневой группы. Перенос силы $P_{\text{ши}}$ вдоль линии действия в точку A даёт составляющие вертикальную инерционную силу P_u и горизонтальную нормальную силу N_u .

Другая тангенциальная сила от кривошипа вала, действующая в коренной шейке, раскладывается на составляющие K вдоль кривошипа и $P_{\text{ши}}$ параллельной и противоположно направленной силе $P_{\text{ши}}$ от движущихся деталей шатунно-поршневой группы. В свою очередь, сила $P_{\text{ши}}$ представляет вертикальную P_u и горизонтальную N_u составляющие. Как видно из рис. 1, пара сил N_u и образуют опрокидывающий момент от крутильных колебаний.

Сила K , с которой кривошип действует на опору (точка O), а также противоположно направленную реакцию опоры стремится сместить двигатель в направлении действия силы.

По рис. 1 видно, что, опрокидывающий момент от крутильных колебаний коленчатого вала вносит определённый вклад в действующий опрокидывающий момент от

суммарной силы. «Энергия от газовых сил, частично затраченная на такте рабочего хода на развитие колебаний, вызывает возрастание нагрузки на шатун и возникновение опрокидывающего момента от крутильных колебаний, который влияет на опрокидывающий момент от суммарных газовых и инерционных сил» [9].

Следует отметить, что опрокидывающий момент равен по величине и противоположен по направлению крутящему, но из-за того, что они приложены к разным телам (корпус двигателя и валопровод), взаимно не уравновешиваются.

Вывод формул для расчета опрокидывающего момента от крутильных колебаний коленчатого вала многоцилиндрового двигателя приведён в [10]. Здесь ограничимся формулами, которые подойдут для рядного судового двигателя (1), (2).

Зависимости (1) и (2) с учётом амплитуд колебаний моторных масс могут быть использованы при определении суммарного влияния опрокидывающего момента от крутильных колебаний и опрокидывающего момента двигателя.

Суммарный момент будет равен:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{ов}} + M_{\text{двкрсл}} = \sum_{i=1}^n M_{\text{г}} + M_{\text{двкрсл}} \text{ кН м} \quad (3)$$

где $M_{\text{ов}}$ – опрокидывающий момент двигателя;

$M_{\text{г}}$ – опрокидывающий момент одного отсека двигателя.

При расчёте суммарного момента необходимо знать начальную фазу гармонической составляющей момента k -го порядка, возбуждающей крутильные колебания.

Для установки ДГР А 100/750 эффективной мощностью 100 кВт при номинальных оборотах 750 об/мин с двигателем 6Ч 18/22 проведены расчёты по данным формулам. Результаты были доложены их авторами на Всероссийской научно-технической конференции по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок при МГТУ им. Н. Э. Баумана в 2014 и 2015 годах, тезисы которых опубликованы в [11; 12].

Проведённые расчёты показали, что крутильные колебания валопровода оказывают влияние на опрокидывающий момент двигателя в целом. Для наглядности на рис. 2 представлены характерные расчётные зависимости опрокидывающего момента M_{Σ} от угла поворота коленчатого вала φ с учетом момента от крутильных колебаний при резонансе шестой гармоники и без них за рабочий цикл.

Из графика видно, что увеличились амплитуды момента, что и приводит к развитию опасных напряжений в валопроводе и вибрациям в машинном отделении.

При резонансе моменты от крутильных колебаний будут влиять на работу всей крутильно-колеблющейся системы. Поэтому для обеспечения работоспособности установки необходим мониторинг параметров судовых ДВС (главных и вспомогательных) в условиях эксплуатации.

При безразборной автоматической технической диагностике в системах среди прочих перспективными являются такие параметры, как крутящий момент двигателя, частота вращения коленчатого вала, вибрация в районе крышек цилиндров (виброскорость/виброперемещение), вибрация в районе коленчатого вала (виброскорость/виброперемещение) [13]. На них могут сказываться влияния резонансных крутильных колебаний.

Неравномерность вращения валопровода – ещё один важный диагностический параметр. Одной из причин, способствующей возникновению неравномерности вращения,

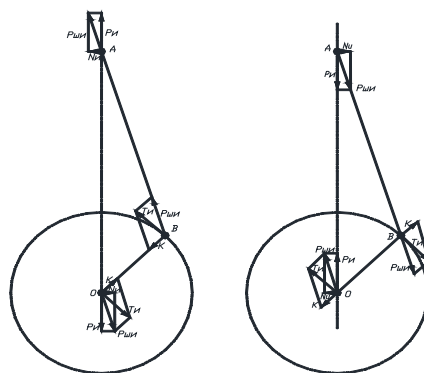


Рис. 1. Схема сил, возникающих в КШМ от крутильных колебаний [выполнено авторами].

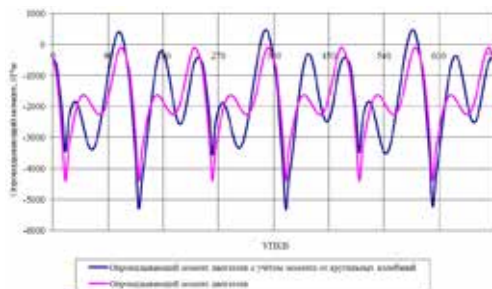


Рис. 2. Зависимости опрокидывающего момента от угла поворота коленчатого вала (УКПВ) за рабочий цикл [выполнено авторами].

является наличие крутильных колебаний валов и валопроводов [14].

«Современные системы диагностики обладают функциями автоматического обнаружения отказов, автоматической диагностики, а также автоматического поиска и устранения неисправностей главных судовых двигателей, а также других видов судового оборудования, размещенного в машинном отделении» [1; 15]. Если используется универсальная платформа с открытым программным обеспечением, то учесть при диагностировании крутильно-колеблющейся системы «двигатель-валопровод-движитель» влияние моментов от крутильных колебаний становится проще.

Выводы

В результате анализа источников и ранее проведённых авторами исследований можно сделать ряд обобщающих выводов.

Система «двигатель-валопровод-движитель» относится к наиболее ответственным и напряжённым деталям судовой энергетической установки. А расчёт системы на крутильные колебания – один из самых сложных



и объёмных расчётов при создании СЭУ, который требуется проверять торсиографирующим.

Несколько видов возмущающих моментов должны учитываться в расчётах крутильных колебаний силовых установок, но основным источником крутильных колебаний системы являются переменные моменты от действия различных сил в КШМ.

По рассмотренной схеме сил в КШМ и в результате проведённых расчётов по приведённым зависимостям для дизель-генератора ДГР А 100/750 видно, что крутильные колебания валопровода оказывают влияние на опрокидывающий момент двигателя в целом.

При диагностировании крутильно-колеблющейся системы «двигатель-валопровод-двигатель» важно учитывать влияние моментов от крутильных колебаний, так как в условиях эксплуатации это может позволить обслуживающему персоналу предупреждать возникновение возможных аварий.

Требуется дополнительные исследования, посвящённые повышению эффективности диагностирования с использованием цифровых инструментов и средств связи, позволяющих осуществлять обмен большими данными.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Валов Д. С., Валгин С. А. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов // Актуальные исследования. – 2023. – № 5 (135). – С. 19–28. EDN: QGRTJJ.
2. Зябров В. А., Косыгин И. А., Лопатин И. Н. Обзор методов диагностирования технического состояния судовых дизелей // Речной транспорт (XXI век). – 2014. – № 4 (69). – С. 39–41. EDN: SIVFKR.
3. Володин А. Б., Преснов С. В., Якунчиков В. В. На пути к автономному судоходству // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – Т. 22. – № 4. – С. 355–363. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-355-363>.
4. Епифанов В. С., Попов Д. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания: методические рекомендации. – М.: МГАВТ, 2017. – 121 с.

5. Горбачев М. М., Колыванов В. В. Выбор методов постоянного мониторинга крутильных колебаний в судовых машинно-двигательных комплексах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2023. – № 2. – С. 54–65. EDN: JYRACU. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-54-65>.

6. Кудрявцев М. В. Оптический мониторинг крутильных колебаний валов // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. – 2006. – № 28. – С. 3–7. EDN: JURYJF.

7. Сергеев К. О., Прыгунов А. И. Опыт применения радиоторсиографов РТ-660 на судах Северного бассейна // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 493–497. EDN: JRGMLT.

8. Терских В. П. Крутильные колебания валопроводов силовых установок. Т. 1. Элементы системы и возмущающие моменты. – Л.: Судостроение, 1969. – 206 с.

9. Марков В. А., Шатров В. И. Анализ тенденций совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2014. – № 1 (94). – С. 111–128. EDN: RYBWYB.

10. Доброгаев Р. П., Елифанов В. С. Вывод расчётных зависимостей опрокидывающего момента возникающего от крутильных колебаний коленчатого вала многоцилиндрового двигателя. Исследование прочности и надёжности деталей автомобильных двигателей // Межвузовский сб. – Элиста, Калмыцкий государственный университет, 1980. – С. 35–48.

11. Марков В. А., Шатров В. И. Направления совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2014. – № 5 (98). – С. 127–140. EDN: SVJQJB.

12. Марков В. А., Шатров В. И. Направления совершенствования систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2015. – № 5 (104). – С. 128–148. EDN: UXKGAP.

13. Соловьев А. В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 1. – С. 87–92. EDN: YOQFCW.

14. Кочергин В. И., Глушков С. П., Курмыгин А. В. Исследование неравномерности вращения привода элементов судовых энергетических установок // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 65. – С. 71–79. EDN: TGFIBQ.

15. Системы автоматизации и диагностирования дизелей и газовых двигателей (материалы Конгресса CIMAC-2016) // Двигателестроение. – 2019. – № 1 (275). – С. 39–57. EDN: QMGFYW.

Информация об авторах:

Попов Дмитрий Александрович – старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок, электрооборудования судов и автоматизации Академии водного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, porov.dmitry88@mail.ru.

Епифанов Вячеслав Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры судовых энергетических установок, электрооборудования судов и автоматизации Академии водного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, vserifanov@mail.ru.

Зябров Владислав Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой судовых энергетических установок, электрооборудования судов и автоматизации Академии водного транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, zs4@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 27.06.2023, одобрена после рецензирования 24.09.2023, принята к публикации 30.09.2023.



ЛОГИСТИКА 60

Математическая модель цепочек поставок лесоматериалов, и какое место занимают в ней грузовые перевозки.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ 70, 79

Сравнение двух- и одноэтажных вагонов. Какие факторы учитывать и какие выводы можно сделать?

Как унифицировать составность при реализации нерегулярных пассажирских перевозок?

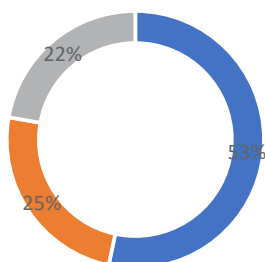
ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 84

Новый подход к оценке качества транспортного обслуживания.



ДОРОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ 93

Как измерить дорожный затор? Так ли всё очевидно, как кажется, и главное – как это поможет бороться с «пробками» на дорогах.



АВТОСТРАХОВАНИЕ 106

Результаты конъюнктурного опроса 2022 года. Спрос на неоригинальные запчасти и другие ответы респондентов.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.001.36

Jel Classification: C44, C61, D24.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-7>

Оптимизация лесопромышленных цепочек поставок: математическая модель и анализ региональных источников на примере Приморского края

**Родион Сергеевич Рогулин***Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
Владивосток, Россия.*✉ rafassiaofusa@mail.ru.

Родион РОГУЛИН

АННОТАЦИЯ

Оптимизация поставок сырья тесно связана с проблемами, возникающими на лесоперерабатывающих предприятиях. Оценка оптимальности решений часто становится актуальным вопросом.

В данной статье рассматривается сценарий работы лесопромышленного предприятия без собственных источников сырья, таких как лесозаготовители, которое стремится найти оптимальное решение на конечном этапе планирования, основываясь на данных о предыдущих сделках. В качестве источника сырья рассматривается товарно-сырьевая биржа, где лоты ежедневно появляются в различных регионах добывающих предприятий в случайном порядке.

Научная литература предлагает множество методов расчёта оптимальной прибыли на протяжении всего планового периода, но эти подходы не учитывают многие важные особенности лесоперерабатывающих предприятий.

В данной работе представлена математическая модель, которая позволяет оценить оптимальный путь для

значений прибыли на протяжении всего периода планирования. Отличительной чертой модели является учёт доли полезного объёма сырья, который можно использовать в производстве ОСБ-плит после зачисления на склад, а также учёт времени доставки лотов в условиях неопределённости.

После проведения тестирования на данных товарно-сырьевой биржи России и одного из предприятий Приморского края, модель была применена для расчёта оптимальной траектории прибыли для различных данных, включая объёмы сырья, время доставки лотов и другие важные показатели производства, такие как объём прибыли и объём производства товаров. Анализ результатов выявил сложности в планировании цепочек поставок и объёмов производства. Также проанализированы регионы в качестве источников сырья, определено, из каких регионов и в какой момент стоит закупать сырьё. В статье подробно рассмотрены недостатки и преимущества математической модели.

Ключевые слова: цепочки поставок, оптимизация решений, сырьевая биржа, математическая модель, оптимальная траектория прибыли, доли полезного объёма сырья, время лота в пути.

Для цитирования: Рогулин Р. С. Оптимизация лесопромышленных цепочек поставок: математическая модель и анализ региональных источников на примере Приморского края // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 60–69. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-7>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Компании давно занимаются разработкой и экспериментами с инновационными гибкими организационными и управленческими решениями. Сложность принятия решений на предприятиях сегодня растёт, влияя на устойчивость цепочек поставок. Современные требования включают в себя высокое качество, конкурентоспособные цены и быстрые сроки разработки программного обеспечения, моделей и подходов [1–10].

Компании, стремящиеся адаптироваться к текущей ситуации, должны следовать трендам и внедрять стратегические системы с использованием различных методов управления и инструментов оптимизации. Анализ больших объёмов данных становится ключевым для достижения удовлетворённости клиентов. Внедрение результатов работ в рамках Индустрии 4.0 может значительно улучшить решения на предприятиях, соответствуя современным вызовам качества [11–19].

Современные исследования подчёркивают важность удовлетворённости клиентов при управлении цепочками поставок. Это включает управление запасами, изменения в объёмах поставок во времени и внешних факторах. Развитие технологий привело к изменениям в логистике и финансовой интеграции бизнес-процессов, снижая затраты и предоставляя персонализированные услуги с более короткими сроками доставки [20–28].

Цепочки поставок теперь представляют собой сеть взаимодействующих организаций, предоставляющих индивидуальные продукты и услуги. Эффективность системы зависит от интерактивных возможностей узлов сети и использования интерактивных технологий. Стабильные отношения, координация, эффективный поток информации и управление запасами по принципу «точно в срок» являются ключевыми характеристиками успешной цепочки поставок.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В академических исследованиях [2; 4; 6] освещается вопрос о влиянии различных факторов, таких как глобализация, на управление цепями поставок. Одним из направлений исследований является применение программного обеспечения и математического программирования для имитации и моделирования реальных сценариев с целью поддержки принятия стратегически

важных решений руководителями. Например, в работе [1] представлена модель геометрического программирования, решающая задачу ценовой дифференциации и планирования производства с максимизацией прибыли на различных площадках цепочки поставок, что было исследовано на примере поставок одежды.

Статья [5] затрагивает моделирование цепей поставок с использованием уравнений в частных производных и обыкновенных дифференциальных уравнений. Здесь рассматриваются как численные, так и точные методы оптимизации для минимизации стоимости. В работе [7] решается проблема аутсорсинга в управлении цепями поставок, предложена математическая модель и проведён численный эксперимент с использованием реальных данных для определения оптимального баланса между производством и аутсорсингом с минимальной общей стоимостью цепочки поставок.

Другие исследования [8; 23–25; 27] фокусируются на моделировании и оптимизации цепей поставок в различных условиях неопределённости и изменчивости внешней среды. В этих работах предложены различные математические модели, включая стохастическое программирование, метод ветвей и границ, генетические алгоритмы, с целью повышения устойчивости и эффективности цепей поставок. Исследования [24; 25; 27] также обращают внимание на формирование цепей поставок и рассчитывают объёмы производства, принимая во внимание адекватный прогноз данных.

Эти разнообразные исследования в совокупности представляют глубокий взгляд на различные аспекты управления цепями поставок, включая ценовую дифференциацию, аутсорсинг, производственную оптимизацию, и обеспечивают полезные инсайты для разработки стратегий в условиях современной динамичной бизнес-среды.

В литературе сегодня активно обсуждаются аспекты управления цепями поставок (Supply Chain Management, SCM), где модели становятся всё более многопериодными и охватывают несколько целевых функций. Статья [9] представляет многоцелевую модель задачи производственного распределения в цепи поставок, включающей поставщиков, производителей, дистрибьюторов и клиентов. Она использует модель смешанного целочис-



ленного линейного программирования (MILP) для проектирования многопериодной цепочки поставок. В то же время модель GFLP предназначена для оптимизации задачи производства-распределения в сети цепочки поставок.

В работе [10] представлена операционная политика для трёхступенчатой цепочки поставок, учитывающая ухудшающийся характер сырья и конечной продукции. Авторы разработали модель, которая применена к реальному случаю и продемонстрировала способность увеличить общую прибыль цепочки поставок на 15 %.

Проблема перепроектирования цепи поставок товаров массового потребления с учетом финансовых критериев и сценариев спроса рассматривается в статье [12], где использована многоцелевая модель смешанного целочисленного линейного программирования. Эта модель учитывает максимизацию чистой приведённой стоимости цепочки поставок и минимизацию финансового риска.

В [17] разработана многоцелевая модель для определения оптимального уровня запасов и их распределения между поставщиками с фокусом на минимизации затрат и максимизации качества. В работе [18] представлена многопериодная модель смешанного целочисленного нелинейного программирования для оптимизации принятия решений в области сбыта готовой продукции. Результаты апробации модели на реальных данных показали её способность снижать эксплуатационные расходы.

Новая бизнес-модель для многоступенчатой схемы управления запасами в цепи поставок представлена в исследовании [22]. Эта модель прошла тестирование на 288 экспериментах, оценивающих влияние перевалки на производительность цепочки поставок. В [29] решается проблема минимизации стоимости цепей поставок сырья с товарно-сырьевой биржи, используя две целевые функции для учета издержек и минимального отклонения от рассчитанного плана приобретения сырья.

Исследования в области управления цепями поставок охватывают разнообразные проблемы, на что указывают работы других авторов. Например, в работе [3] представлен анализ данных для прогнозирования сбоя в цепи поставок первого уровня. Результаты исследования указывают на эффективность математических функций, включая гибкость,

в предсказании просроченных заказов с точностью до 80 %. В [11] проведен анализ количественных моделей устойчивого управления цепями поставок, подчеркивая, что часто создаваемые модели SCM не учитывают важный фактор – анализ жизненного цикла в дизайне сетей цепочки поставок. Интересен подход, представленный в [13], где использованы цветные сети Петри для моделирования управления цепочками поставок с многоагентной структурой, позволяющей указать желаемый уровень детализации системы. Проблема координации в устойчивой цепочке поставок, учитывая экологическую и социальную осведомленность потребителей, рассмотрена в [14]. Теоретико-игровой подход применен для оптимизации цепочки, учитывая чувствительность потребителей к экологическому качеству продукта и социальной ответственности цепочки поставок. В [16] представлен обзор применения нечётких методов в моделировании цепей поставок, исследуются требования к математической модели интегрированной цепи поставок. Модель системной динамики для визуализации цепи поставок при внедрении аддитивного производства представлена в [19]. Разработанная модель подверглась проверке, и результаты анализа чувствительности подтверждают ее достоверность. В работе [20] исследуется дизайн сети цепи поставок, учитывая разработку новых продуктов и включение управления взаимоотношениями с клиентами и неопределённость спроса. Работа оценена на данных реального предприятия. В [21] предложена система оптимизации на основе данных о рисках для управления цепями поставок, интегрирующая генетический алгоритм с многослойной нейронной сетью. Результаты показывают снижение уровня запасов и увеличение прибыли.

Рассматриваемая тема в контексте управления цепями поставок (SCM) является актуальной и получила значительное внимание в литературе. Однако следует выделить несколько важных аспектов, которые остаются до настоящего времени недостаточно освещёнными:

1. Отсутствие анализа управления цепочками поставок сырья в условиях неопределённости и рисков, особенно с точки зрения товарно-сырьевых бирж. В современных условиях сырьевые сделки часто проводятся

в формате В2В между делаянами и предприятиями-переработчиками. Введение инструментов товарно-сырьевых бирж может повысить прозрачность сделок, сократить сроки налаживания связей и расширить клиентскую базу, что, в свою очередь, положительно скажется на конкурентоспособности цен и общей эффективности снабжения.

2. Недостаточное внимание уделено оценке максимально возможной прибыли на всем горизонте планирования в условиях неопределённости и с особенностями лесопромышленной отрасли. Эта проблема критична для оценки эффективности ИТ-решений и качества управления организацией в контексте SCM.

3. Отсутствие подробного рассмотрения особенностей изменения объёма древесины в лесопромышленной отрасли в процессе транспортировки. Этот аспект требует учета при формировании производственного плана и управлении цепями поставок сырья до достижения склада предприятия.

Таким образом, необходимо углубленное исследование данных аспектов для более полного понимания и развития стратегий в области управления цепями поставок.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим функционирование организаций в лесопромышленной сфере. В данном контексте важны два ключевых процесса: транспортировка и приобретение сырья на товарно-сырьевых биржах, а также изготовление различных продуктов на основе имеющихся запасов сырья. Чтобы более чётко представить себе процесс, стоит выделить, что сырьё на бирже предоставляется арендаторами и делаянами из различных регионов. Эти субъекты заключают договора с биржей, что предоставляет им право торговать на площадке. При заключении сделки между предприятием-заказчиком и делаяной-поставщиком заказчику направляется заявленный объём сырья [23, 25].

Как правило, компании получают заказы заблаговременно, что даёт возможность для долгосрочного планирования. Однако, стоит отметить, что спрос на продукцию в лесопромышленной отрасли подвержен сезонным колебаниям, что создаёт сложности в планировании деятельности компании [23, 25].

Основная цель исследования заключается в разработке математической модели, способной оптимизировать объём выпуска товаров

для лесопромышленного предприятия. Эта модель учитывает формирование и поступление цепочек поставок сырья с товарно-сырьевой биржи, а также учитывает условия неопределённости предложения и логистики для максимизации прибыли на всем горизонте планирования.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ существующих научных работ по проблеме.

2. Разработать экономико-математическую модель для формирования цепочек поставок сырья и определения оптимального объёма производства товаров в условиях учёта заявок и времени доставки лотов на склад предприятия.

3. Провести анализ результатов тестирования модели.

Гипотеза исследования состоит в том, что существует модель, способная эффективно оценить оптимальную траекторию прибыли на всем горизонте планирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическая модель

Производственные предприятия, включая лесопромышленные, не могут обойтись без устойчивой сырьевой базы. Для анализа использования сырьевой базы мы обратимся к информации, предоставляемой Санкт-Петербургской Международной Товарно-сырьевой Биржей (в дальнейшем – биржа), доступной в открытом доступе. Биржа регулярно предоставляет данные о совершённых сделках, их объёмах и ценах, а также об услугах по доставке сырья, включённых в общую стоимость товара. Многие регионы, предоставляющие потенциальное сырьё, представлены на бирже [23; 25]. Приобрести лот возможно только полностью, согласно правилам функционирования товарно-сырьевой биржи [23; 25].

Процесс производства охватывает несколько этапов: сначала сырьё поступает на склад, затем происходит его измельчение в труху, после чего оно прессуется в плиты ориентированной стружки (ОСБ). ОСБ-плиты производятся отдельно для каждого вида сырья.

Транспортировка осуществляется по железнодорожным путям с использованием Транссибирской магистрали за счет отпави-





теля, который включает все расходы по транспортировке лота в его цену.

Введём обозначения для параметров и переменных данной системы.

Параметры:

p_{km} – цена на товар типа k в день m ;

c_{ilrm} – цена лота i с типом сырья l из региона r , появившаяся на бирже в день m ;

A_{lk} – норма потребления сырья типа l на производство единицы товара типа k ;

$\gamma_{\tilde{m}m}$ – коэффициент порчи сырья, купленного в день $\tilde{m}$ ко дню m ($m \geq \tilde{m}$);

V_{ilrm} – объём сырья в лоте i с типом сырья l из региона r , появившаяся на бирже в день m ;

H_{km} – максимальный объём производства товаров типа k в день m ;

$\underline{b}$ – неприкосновенный уровень запаса сырья;

$\bar{b}$ – максимальная вместимость склада;

B_0 – начальный бюджет;

FC – постоянные издержки;

M – горизонт планирования;

$T_{\tilde{m}m}$ – время, за которое выкупленный в день $\tilde{m}$ лот из региона r дойдёт до склада;

L_r – расстояние от склада до региона r ;

S_m – расстояние, пройденное заявкой в день m ;

β – константа;

$\varepsilon^{(1)}$ – шум;

$left$ и $right$ – минимальное и максимальное значение случайной величины, распределённой по равномерному закону;

$LN(a_m, \delta_m)$ – логнормальное распределение случайной величины с параметрами (a_m, δ_m) соответственно;

E – число различных наборов входных параметров $\{V_{ilrm}(e), c_{ilrm}(e), T_{\tilde{m}m}(e)\}$.

Переменные:

x_{km} – объём производства товаров типа k в день m ;

λ_{ilrm} – решение о покупке лота i с типом сырья l из региона r , появившаяся на бирже в день m ;

b_{lm} – уровень запаса сырья типа l на складе в день m .

Обозначим решаемую задачу для каждого набора параметров e (список параметров указан выше) как $F^{(1,1)}(e)$:

$$\sum_{k,m} p_{km} x_{km} - \sum_{i,l,r,m} c_{ilrm} \lambda_{ilrm} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$b_{lm} = b_{lm-1} - \sum_k A_{lk} x_{km} + \gamma_{\tilde{m}m} \sum_{i,r} V_{ilrm} \lambda_{ilrm}; \quad (2)$$

где выполняется условие $\tilde{m} = m - T_{\tilde{m}m}$.

$$x_{km} \in N; \quad (3)$$

$$\lambda_{ilrm} = \{0; 1\}; \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_l b_{lm} \leq \bar{b}; \quad (5)$$

$$0 < \underline{b} \leq b_{lm}; \quad (6)$$

$$B_0 + \sum_{m=1}^M \left(\sum_k p_{km} x_{km} - \sum_{i,l,r} c_{ilrm} \lambda_{ilrm} - FC \right) \geq 0, m = 1: M, \quad (7)$$

где $\tilde{m} = m - T_{\tilde{m}m}$.

$$T_{\tilde{m}m} = m^* : \begin{cases} \left| L_r - \sum_{m=\tilde{m}}^{m^*} S_m \right| \rightarrow \min \\ L_r - \sum_{m=\tilde{m}}^{m^*} S_m \leq 0 \end{cases}; \quad (8)$$

$$S_m \sim LN(a_m, \delta_m) \\ \gamma_{\tilde{m}m} = \min(1; \max[\dots]); \quad (9)$$

$$\gamma_{\tilde{m}m} = \min \left(1; \max \left[0; 1 - \frac{2}{\pi} \arctg(\beta(m - \tilde{m})) + \varepsilon^{(1)} \right] \right); \quad (10)$$

$$\varepsilon^{(1)} \sim U(left, right); \quad (11)$$

$$0 \leq x_{km} \leq H_{km}. \quad (12)$$

Поясним, что в ограничениях (2) и (7) значения $V_{ilrm(m-T_{\tilde{m}m})}$ записываются в систему

ограничений тогда и только тогда, когда выполняется условие $\tilde{m} = m - T_{\tilde{m}m}$. Задача $F^{(1,1)}(e)$

решается для всех $e = 1: E$.

Рассмотрим математические выражения (1–12) в более подробном контексте. Целевая функция (1) стремится к максимизации общей прибыли в последний день планирования. Уровень запаса сырья в день m определяется формулой (2), учитывая затраты на производство, остаток сырья от предыдущего дня, а также поступление сырья на склад в текущий день с учетом времени в пути $\tilde{m}$ и доли полезного объёма сырья. Объём производства (3) ограничен целыми неотрицательными значениями. Решение о приобретении лота принимается по формуле (4). Объём сырья на складе ограничен сверху (5) и снизу (6) в соответствии с максимальной вместимостью и невозможностью отрицательных значений. Каждое предприятие оперирует в пределах своего бюджета, представленного ограничением (7). Время в пути для каждой заявки рассчитывается по (8–9). Предполагается, что случайная величина расстояния, которое преодолевает лот в день m , имеет логнормальное распределение, связанное с сезонностью железнодорожных маршрутов, детали которой можно изучить в [25; 27; 29]. Коэффициент полезного объёма сырья задаётся формулами (10–11). Предположим, что $\varepsilon^{(1)}$ имеет равномерное распределение, поскольку нет

Таблица 1

Основные входные параметры Предприятия

$\forall m > 0: p_{km}, k = 1: K, \text{ руб}$	$(1.01, 1.4, 1.65, 1.8) \cdot 10^4$
$\bar{b}, \text{ м}^3$	3100
$\underline{b}, \text{ м}^3$	19
$B_0, \text{ руб}$	$2.99 \cdot 10^6$
$left(m), \text{ y. e.}$	$\frac{100}{m \cdot 10^5}$
$right(m), \text{ y. e.}$	$\frac{100}{m \cdot 10^5}$
$\forall m, k > 0: H_{km}$	4
$L_r, r = 1: R, \text{ км}$	(3750, 7540, 3260, 9010)

Источники: Предприятие, биржа, некоторые данные сгенерированы автором

Таблица 2

Затраты сырья на производство единицы товара

A_{lk}	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$
$l = 1$	2	3	4	3
$l = 2$	1	3	3	5

Источники: Предприятие. См. примечание к таблице 1.

оценок изменения рабочего объёма сырья во времени. Объём произведённой продукции (12) ограничен физическими причинами.

Как следует из описания модели $F^{(1,1)}(e)$, она является задачей нелинейного и стохастического программирования. Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть алгоритм решения. Алгоритм решения примет вид:

1. Определить значения (8–9) и $\gamma_{\bar{m}m}$ с учетом (11);
2. Решить задачу смешанно-целочисленного программирования (1–7, 12) для каждого набора данных e .

Калибровка

Исследование модели включало тестирование на двух наборах данных: во-первых, на данных о деятельности предприятия, расположенного в Приморском крае (в дальнейшем – Предприятие), а во-вторых, на сгенерированных данных, созданных автором исследования.

Подробнее рассмотрим процесс генерации данных, связанных с распределением лотов во времени. Для этого использовалась информация с товарно-сырьевой биржи за 120 дней, начиная с 01.03.2019 года. Каждые 30 дней производился расчёт математического ожидания и дисперсии количества заявок, объёмов сырья в каждой заявке и средней цены за 1 м³. Затем, используя нормальное распределение с вычисленными характеристиками,

были созданы E наборов данных. Остальные параметры логистики и производственных процессов ($\bar{b}$, $\underline{b}$, B_0 , FC , a_m , δ_m , β , L_r) были взяты из данных Предприятия, соответствуя их оценкам.

Для конкретности примем $K = 4$ типа товаров, горизонт планирования $M = 100$ дней, типов сырья $L = 2$, количество регионов $R = 4$, количество лотов каждый день в диапазоне $0 \leq I \leq 6$, и количество различных наборов входных параметров $E = 400$. Биржа представлена четырьмя регионами: Иркутская область ($r = 1$), Пермский край ($r = 2$), Республика Бурятия ($r = 3$), Московская область ($r = 4$). Горизонт планирования охватывает период с 1 марта 2019 года по середину июня 2019 года.

Основные входные данные, характеризующие деятельность Предприятия, представлены в таблицах 1–2.

Для проведения вычислений воспользуемся высокоуровневым языком программирования Matlab и встроенной функцией `intlinprog` для поиска решений задач смешанно-целочисленной линейной оптимизации.

ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим рис. 1. На этом графике представлены динамика объёмов производства на конец каждого дня m . Интересно, что, несмотря на более высокие цены на товары 3 и 4, результаты анализа свидетельствуют о стабильности объёмов производства для



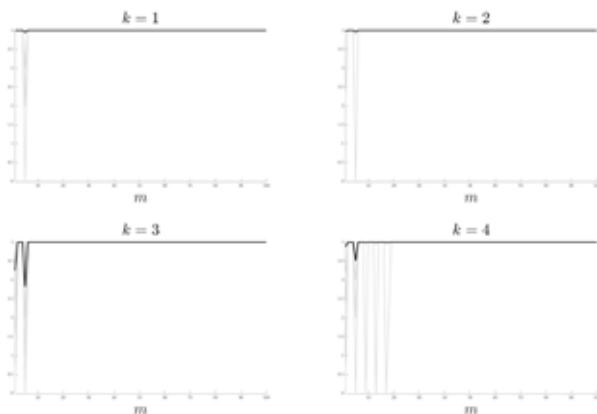


Рис. 1. Визуализация объемов производства.

Источник: автор с опорой на данные Предприятия и выходные данные математической модели.

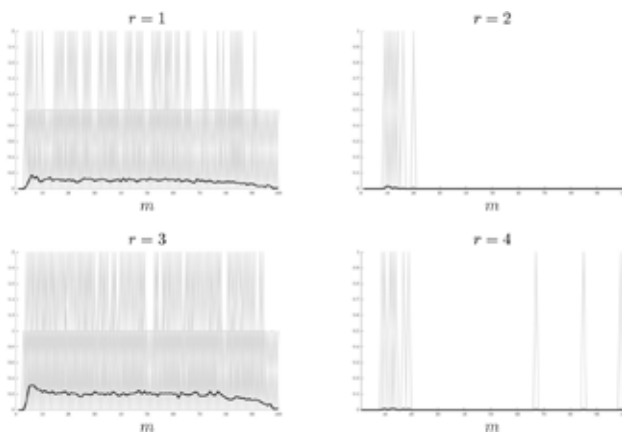


Рис. 2. Визуализация частоты приобретения лотов в каждом регионе ($l = 1$).

Источник: автор с опорой на данные Предприятия и выходные данные математической модели.

товаров 1-го и 2-го типа – их графики практически не подвержены колебаниям, что нельзя сказать о товарах 3 и 4.

Рассмотрим рис. 2 и 3. На них отражаются факты принятия решения касательно покупки лотов для сырья типа 1.

Наиболее частыми для приобретения сырья с биржи на всем горизонте планирования можно отнести следующие регионы: Бурятия и Иркутская область. Исходя из результатов исследований [23–25; 29] следует, что обычно территориальная близость играет важную роль в принятии решений об объемах приобретаемого сырья. Несмотря на территориальную близость к Иркутской области КНР и наличие прямой железнодорожной ветки¹ это не сказывается на ценах на сырье. Кроме того, факт приобретения сырья в более отдаленном регионе – Бурятия, сказывается на

рабочем объеме сырья, который приходит на склад, и времени в пути. В работах [25; 29] демонстрируется, что в основном стоит приобретать сырье в Иркутской области, что идет в разрез с результатами текущего исследования.

На рис. 4 изображены показатели прибыли π_m (е) в каждый отдельный день. Видно, что влияние постоянных издержек невелико на текущее значение прибыли. Отставание от среднего значения прибыли наблюдается лишь в небольшом количестве случаев.

Рассмотрим положительные и отрицательные стороны полученной модели.

1. Отрицательные стороны:

1.1. В реальном производстве в процессе планирования едва ли можно представить ситуацию, когда менеджеры ответственные за принятия решений могут знать реальное распределение во времени лотов со всеми их характеристиками, поэтому важно:

1.1.1. Собирать различные данные, связанные с поставленной задачей, за большой

¹ Карты международных транспортных коридоров (Евразия). Express+. [Электронный ресурс]: <http://www.expressstk.ru/wp-content/uploads/2017/08/Evroaziatskie-transportnye-koridory.pdf>. Доступ 27.04.2023.

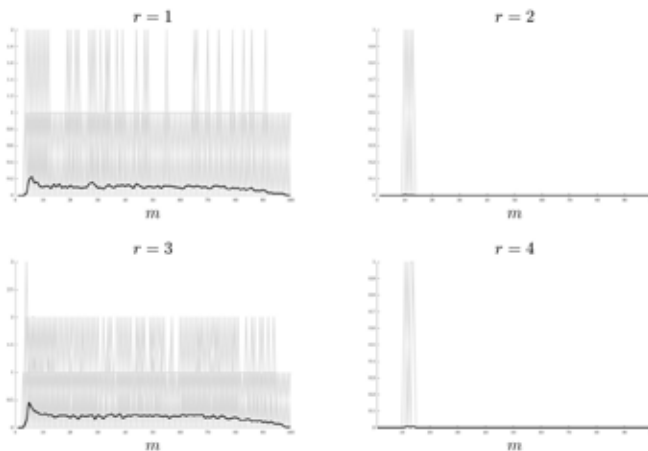


Рис. 3. Визуализация частоты приобретения лотов в каждом регионе ($l = 2$).
Источник: автор с опорой на данные Предприятия и выходные данные математической модели.

промежуток времени, однако на сайте биржи доступны лишь данные с начала 2010-х годов, что крайне усложняет процесс формирования достаточного объёма выборки данных для анализа. Стоит отметить, что с течением времени эта проблема становится менее актуальной, так как растёт объём отчётов по совершенным сделкам;

1.1.2. Строить сложные математические модели для максимально точного прогноза распределения заявок во времени. Однако в теории аукционов давно известно, что прогнозировать ситуацию на биржах достаточно непростая задача, так как на биржах по мере допуска на них частных инвесторов (в контексте текущей задачи – малых предприятий) растёт влияние настроений, а последние очень плохо поддаются прогнозированию. Исходя из этого аргумента резко растёт актуальность развития методов прогнозирования ситуаций на биржах не только ценных бумаг, но и на сырьевых.

1.2. Быстро растущее количество ограничений из-за линейности модели [24].

1.3. Для каждого дня необходимо знать параметры a_m , δ_m , которые могут меняться с течением лет.

1.4. Нет чёткого объяснения о допустимости использования логнормального распределения величины пройденного расстояния лотом.

1.5. Параметр β должен также изменяться во времени, потому что летом изменения показателя полезного объёма сырья падают быстрее под воздействием температуры, влаги и механического воздействия насекомых [29].

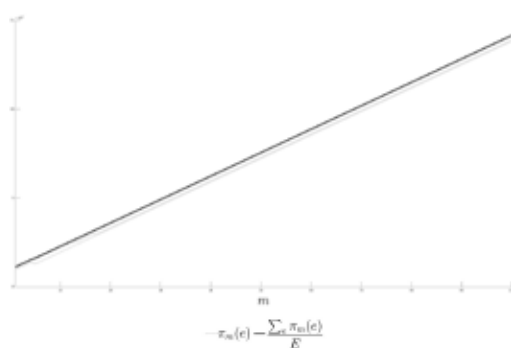


Рис. 4. Визуализация значений прибыли.
Источник: автор с опорой на данные Предприятия и выходные данные математической модели.

1.6. В реальных условиях ограничение (12) должно в себя включать в качестве верхней оценки значение $\min(H_{km}, Q_{km})$, где Q_{km} – это спрос на товары типа k в день m , что позволит значительно уточнить решение задачи.

1.7. Нет выбора допустимости степени риска, что крайне важно в выборе стратегии формирования «сырьевого портфеля» в современных условиях.

1.8. Предприятия лесопромышленной отрасли не всегда используют в качестве источника сырья только биржу, но зачастую применяются прямые договора B2B, которые нивелируют риски – эта возможность в модели не присутствует.

2. Положительные стороны:

2.1. Для верхней оценки прибыльности производства даже масштаба крупнейших компаний лесопромышленного сектора Российской Федерации при достаточно больших значениях количества сырья, лотов и регио-



нов на бирже данная модель может быть эффективна с горизонтом планирования один год, что является самым часто встречающимся на предприятиях этой отрасли [23–26].

2.2. Концептуальная простота модели.

2.3. Возможность учёта времени в пути лота.

2.4. Наличие коэффициента полезного объёма сырья для производства.

2.5. Наличие известных методов оптимизации для задач линейного программирования [29].

Таким образом, можно утверждать, что гипотеза о существовании модели, которая позволяет оценить верхнюю оценку оптимального значения прибыли для предприятия лесопромышленной отрасли при взаимодействии с товарно-сырьевой биржей, подтверждается, и инструмент оценки может быть разработан – его пример приводится в данной статье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе разработана модель, позволяющая определить верхнюю границу прибыли на основе имеющихся данных о распределении лотов во времени. Особенностью модели является её способность учитывать время в пути лотов и оценивать их полезный объём для последующей переработки. Учтены различные ключевые факторы лесопромышленного производства, такие как формирование цепочек поставок сырья и объёмы производства ОСБ-плит внутри предприятия, основываясь исключительно на бюджете компании.

В модели также учтена схема работы товарно-сырьевой биржи, ограничивающая покупки лотов только полными партиями. Решение модели включает в себя ежедневное производство каждого типа товара, текущее состояние бюджета, список цепочек поставок в процессе, уровень запасов сырья на складе с учетом его вместимости и резервных запасов. Формирование цепочек поставок сырья осуществляется в соответствии с принципами «just-in-time». Процесс поиска оптимального решения автоматизирован в соответствии с предварительно выбранным алгоритмом оптимизации.

С практической точки зрения, данная модель представляет интерес для топ-менеджмента лесопромышленных предприятий, которые стремятся оценить эффективность

своей деятельности. С теоретической точки зрения внесённый моделью вклад расширяет область экономико-математического раздела экономических наук, в частности, в теорию принятия решений.

Модель успешно протестирована на одном из ведущих лесоперерабатывающих предприятий Приморского края. После проведения вычислений и определения оптимального решения были сформулированы рекомендации для руководства компании относительно сотрудничества с товарно-сырьевой биржей России. В целом, проведённые расчёты позволяют делать выводы о возможности заключения рациональных сделок на товарно-сырьевой бирже России.

Для более точной оценки верхней границы прибыли представляется целесообразным внедрение дополнительных ограничений, связанных с технологическими процессами производства, допустимостью степени риска, уточнение расчётов определённых параметров (например, a_m , δ_m , β), влияющих на время в пути и рабочий объём сырья по приходу на склад, а также учёт транспортных и ресурсных рисков через возможность заключения прямых контрактов с поставщиками и введение функции спроса на конечные товары. Рассмотрены как положительные, так и отрицательные стороны предложенной модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ghasemy, Y. R. Enhancing supply chain production-marketing planning with geometric multivariate demand function (a case study of textile industry). *Computers & Industrial Engineering*, 2020, Vol. 140 (19), 106220. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106220.
2. Maina, J., Mwangangi, P. W. A Critical Review of Simulation Applications in Supply Chain Management. *Journal of Logistics Management*, 2020, Vol. 9, pp. 1–6. DOI: 10.5923/j.logistics.20200901.01.
3. Brintrup, A., Pak, J., Ratiney, D., Pearce, T., Wichmann, P., Woodall, P., McFarlane, D. Supply chain data analytics for predicting supplier disruptions: a case study in complex asset manufacturing. *International Journal of Production Research*, 2020, Vol. 58, pp. 3330–3341. DOI: 10.1080/00207543.2019.1685705.
4. Dominguez, R., Cannella, S. Insights on Multi-Agent Systems Appli, ations for Supply Chain Management. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, Iss. 5, 1935. DOI: 10.3390/su12051935.
5. Luigi, R., Stamova, I. M., Tomasiello, S. Numerical schemes and genetic algorithms for the optimal control of a continuous model of supply chains. *Applied Mathematics and Computation*, 2021, Vol. 388, 125464. DOI: 10.1016/j.amc.2020.125464.
6. El Raoui, H., Oudani, M., El Hilali Alaoui, A. Coupling Soft Computing, Simulation and Optimization in Supply Chain Applications: Review and Taxonomy. *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 31710–31732. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973329.

7. Alkahtani, M. Mathematical Modelling of Inventory and Process Outsourcing for Optimization of Supply Chain Management. *Mathematics*, 2022, Vol. 10 (7), 1142. DOI: 10.3390/math10071142.
8. Sadeghi, Z., Boyer, O., Sharifzadeh, S., Saeidi, N. A Robust Mathematical Model for Sustainable and Resilient Supply Chain Network Design: Preparing a Supply Chain to Deal with Disruptions. *Complexity*, 2021, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2021/9975071.
9. Goodarzian, F., Shishebori, D., Nasser, H., Dadvar, F. A bi-objective production-distribution problem in a supply chain network under grey flexible conditions. *RAIRO Operations Research*, 2021, Vol. 55, pp. 1287–1316. DOI: 10.1051/ro/2020111.
10. Taghizadeh-Yazdi, M., Farrokhi, Z., Mohammadi-Balani, A. An integrated inventory model for multi-echelon supply chains with deteriorating items: a price-dependent demand approach. *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 37, pp. 87–96. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/303876476_An_Integrated_Location-Inventory_Model_for_Supply_Chain_Network_with_Correlated_Demand. Доступ 28.05.2023.
11. Flores-Sigüenza, P., Marmolejo-Saucedo, J. A., Niembro-García, J., Lopez-Sanchez, V. M. A systematic literature review of quantitative models for sustainable supply chain management. *Mathematical biosciences and engineering: MBE*, 2021, Vol. 18, Iss. 3, pp. 2206–2229. DOI: 10.3934/mbe.2021111.
12. Escobar, J. W., Marin, A. A., Lince, J. D. Multi-objective mathematical model for the redesign of supply chains considering financial criteria optimization and scenarios. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 2020, Vol. 16, Iss. 2, pp. 238–256. DOI: 10.1504/IJMOR.2020.105903.
13. Fierro, L. H., Cano, R. E., García, J. I. Modelling of a multi-agent supply chain management system using Colored Petri Nets. *Procedia Manufacturing*, 2020, Vol. 42, pp. 288–295. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.095.
14. Heydari, J., Rafiei, P. Integration of environmental and social responsibilities in managing supply chains: A mathematical modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, Vol. 145, Iss. 1, 106495. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106495.
15. Schroeder, M., Lodemann, S. A Systematic Investigation of the Integration of Machine Learning into Supply Chain Risk Management. *Logistics*, 2021, Vol. 5, Iss. 3, 62. DOI: 10.3390/logistics5030062.
16. Nishanth, B., Priyanka, S., Kannan, V., Muhammad Raheel Basha, A., Dinesh, J., Muruganandham, R., Harish, V. Mathematical modelling of supply chain under current COVID-19 business scenario with the review study on the fuzzy logic based supply chains. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, 2020, Vol. 7, Iss. 2, pp. 4972–4981. [Электронный ресурс]: <https://ejmcm.com/uploads/paper/73dde990bead52540d9f726638c2d70.pdf>. Доступ 28.05.2023.
17. Saad, E., Fathi Hafshjani, K., Radfar, R. Designing a Multi-Objective Closed-loop Supply Chain Mathematical Model with Supplier Selection Approach and considering Discount. *Engineering Management and Soft Computing*, 2022, Iss. 8 (2), pp. 43–71. [Электронный ресурс]: https://jemsc.qom.ac.ir/article_1609_dc0a78aa66f060c25ed1968d95cc9a34.pdf?lang=en. Доступ 28.05.2023.
18. Teixeira, A., Silva, E. C., Lopes, C. A mixed integer nonlinear multiperiod model for supply chain management of a company in the retail sector. *RAIRO – Operations Research*, 2021, Vol. 55, Iss. 2, pp. 997–1013. DOI: 10.1051/ro/2021048.
19. Nuñez Rodriguez, J., Andrade Sosa, H. H., Villarreal Archila, S. M., Ortiz A. System Dynamics Modeling in Additive Manufacturing Supply Chain Management. *Processes*, 2021, Vol. 9, 982. DOI: 10.3390/pr9060982.
20. Rezaei, E., Paydar, M. M., Safaei, A. S. Customer relationship management and new product development in designing a robust supply chain. *RAIRO – Operations Research*, 2020, Vol. 54, pp. 369–391. DOI: 10.1051/ro/2018107.
21. Nezamoddini, N., Gholami, A., Aqlan, F. A risk-based optimization framework for integrated supply chains using genetic algorithm and artificial neural networks. *International Journal of Production Economics*, 2020, Vol. 225, 107569. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.107569.
22. Cesarelli, G., Scala, A. E., Vecchione, D., Ponsiglione, A., Guizzi, G. An Innovative Business Model for a Multi-echelon Supply Chain Inventory Management Pattern. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, Vol. 1828, pp. 1–10. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012082.
23. Рогулин Р. С., Мазелис Л. С. Алгоритм и математическая модель формирования устойчивых цепочек поставок древесного сырья из регионов России: сравнение и анализ // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». – 2020. – Т. 15. – № 3. – С. 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404.
24. Рогулин Р. С. Моделирование перспектив взаимодействия предприятия лесопромышленного комплекса и товарно-сырьевой биржи России // *Journal of Applied Economic Research*. – 2020. – Т. 19. – № 4. – С. 489–511. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.4.023.
25. Рогулин Р. С. Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // *Бизнес-информатика*. – 2020. – Т. 14. – № 4. – С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35.
26. Рогулин Р. С. Место ИКТ и предпринимательства в формировании устойчивых цепочек поставок // *Экономическая политика*. – 2021. – Т. 16. – № 4. – С. 84–103. DOI: 10.18288/1994-5124-2021-4-84-103.
27. Рогулин Р. С. Математическая модель формирования ценовой политики и плана производственно-транспортной системы лесопромышленного предприятия // *Бизнес-информатика*. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 60–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.60.77.
28. Рогулин Р. С. Роль информационно-коммуникационных технологий в формировании устойчивых цепочек поставок до и после пандемии covid-19 // *Journal of Applied Economic Research*. – 2021. – Т. 20. – № 3. – С. 461–488. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.3.019.
29. Mazelis, L., Rogulin, R. Devising a method for the formation of sustainable chains of supply of raw materials from mercantile exchange to a timber processing enterprise considering uncertainties and risks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, Vol. 5, Iss. 3 (113), pp. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242960. ●

Информация об авторе:

Рогулин Родион Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры математики и моделирования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, Владивосток, Россия, rafassiaofusa@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 29.03.2023, одобрена после рецензирования 17.07.2023, принята к публикации 21.07.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 618.518.5

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-8>

Разработка предложений по повышению эффективности использования отечественного подвижного состава повышенной вместимости на юге России



Владислав РАХАЕВ



Елена КУЗИНА



Марина ВАСИЛЕНКО

Владислав Алексеевич Рахаев¹, Елена Леонидовна Кузина², Марина Александровна Василенко³

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

³Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия.

✉ ³ margo2026@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Основной тенденцией развития подвижного состава повышенной вместимости на юге России является специализация вагонов. В статье рассматриваются преимущества двухэтажных поездов по сравнению с традиционными – одноэтажными. Двухэтажные поезда позволяют осуществлять мультимодальные перевозки пассажиров в условиях повышенного спроса и уменьшения альтернативных предложений со стороны других видов транспорта, увеличивают вместимость пассажирского подвижного состава, увеличивают пропускную способность железнодорожной инфраструктуры, а также обеспечивают наиболее рациональное использование габаритов подвижного состава. В результате повышается провозная способность железнодорожных линий при минимальных затратах средств, поскольку уменьшаются энергозатраты на тягу и тяговое обеспечение.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, маршрут, перевозки, пассажиропоток, транспортная доступность, алгоритм, модель, повышенный спрос.

Авторами проведён анализ и построена модель замещения традиционного одноэтажного подвижного состава на более вместительный двухэтажный подвижной состав. Показаны зависимость размеров движения и пассажиропотока и потенциальная область замещения одноэтажных поездов двухэтажными составами. Представлена номограмма зависимости уровня транспортного обслуживания населения от регулярности назначения поездов. Рассмотрен общий алгоритм оценки и выбора потенциальных возможностей назначения двухэтажных поездов на юге России.

Предложены сценарии изменения категории уровня транспортного обслуживания в условиях повышенного спроса при замене одноэтажных вагонов на двухэтажные. Рассчитан годовой эффект от замены одноэтажных вагонов на двухэтажные и определён суммарный инвестиционный эффект от производимых замен.

Для цитирования: Рахаев В. А., Кузина Е. Л., Василенко М. А. Разработка предложений по повышению эффективности использования отечественного подвижного состава повышенной вместимости на юге России // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-8>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях повышенного спроса на поездки пассажиров эффективным инструментом улучшения использования производственных мощностей пассажирского транспорта, наряду с организационными мерами по оптимизации маршрутной сети и повышением уровня использования временных и технических ресурсов подвижного состава, является использование пассажирских вагонов повышенной вместимости [1]. Увеличение количества мест в вагоне без ухудшения условий проезда для пассажиров достигается за счет создания и эксплуатации двухэтажного пассажирского подвижного состава [2].

В настоящее время зарубежные и отечественные производители имеют широкую продуктовую линейку двухэтажного подвижного состава как на локомотивной, так и на моторвагонной тяге:

1) Bombardier Double-deck Coach – модель двухэтажного пассажирского поезда немецкого производства¹;

2) TGV Duplex – модель двухэтажного пассажирского поезда французского производства²;

3) Stadler KISS RUS – модель двухэтажного пассажирского поезда швейцарского производства, эксплуатируемый компанией ООО «Аэроэкспресс»³;

4) Двухэтажные пассажирские вагоны российского производства тверского вагоностроительного завода, эксплуатируемые компанией ОАО «РЖД»⁴.

Преимущества двухэтажных поездов по сравнению с традиционными (одноэтажными):

1. Возможность назначения двухэтажных поездов в удобное время для большого количества пассажиров в условиях ограниченной пропускной способности без заня-

тия дефицитной дополнительной нитки графика.

2. Сниженная стоимость билетов для классов Купе и СВ из-за большего количества предоставляемых мест и более низких удельных затрат (себестоимости) перевозки.

3. Современные, технологичные и экологичные поезда, отвечающие высоким стандартам качества.

Вместимость двухэтажных вагонов существенно превосходит одноэтажные, что продемонстрировано в табл. 1.

В качестве примера, рассмотрен график 2022/2023 гг. курсирования двухэтажных поездов по маршрутам, представленным в табл. 2.

Кроме того, двухэтажные электропоезда производства швейцарской компании Stadler Rail используются компанией ООО «Аэроэкспресс» для организации мультимодальных перевозок пассажиров из/в аэропорты Московского авиационного узла [3; 4].

Целью исследования являлись анализ и построение модели замещения традиционного одноэтажного подвижного состава на более вместительный двухэтажный подвижной состав на примере отправок, следующих на юг России.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа и построения модели замещения традиционного одноэтажного подвижного состава на более вместительный двухэтажный подвижной состав выбраны следующие направления курсирования поездов (табл. 3).

Анализ существующих маршрутов следования двухэтажных поездов свидетельствует о выявленных закономерностях:

1. Полигоны движения двухэтажных поездов связывают транспортные районы с высокоинтенсивным пассажирообменом. Такие транспортные связи характерны для корреспонденций из (в) столицы Российской Федерации – Москвы и городами-миллионниками, курортами федерального значения и центрами федеральных округов.

2. Также точкой притяжения является Санкт-Петербург с аналогичными видами транспортных связей и статусом транспортного центра.

3. На полигонах движения двухэтажных поездов имеются значительные размеры движения традиционных одноэтажных со-

¹ Bombardier to Deliver TWINDEXX Double-deck Coaches and TRAXX Locomotives for Long-distance Routes to Deutsche Bahn AG. [Электронный ресурс]: <https://bombardier.com/en/media/news/bombardier-deliver-twindexx-double-deck-coaches-and-traxx-locomotives-long-distance>. Доступ 27.09.2023.

² Perren, B. Modern Railways, 2009, № 725, pp. 63–69 [материалы компании Alstom (www.transport.alstom.com/home)].

³ Двухуровневый скоростной электропоезд ЭШ2 KISS RUS (АЭРО). Инновационный дайджест. ОАО «РЖД» Доступ 24.09.2023.

⁴ Вагон пассажирский двухэтажный купейный со спальными местами. Тверской вагоностроительный завод. [Электронный ресурс]: http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item_detail.php?ELEMENT_ID=1949 Доступ 17.09.2023.



Таблица 1

Сравнение одноэтажного вагона с двухэтажным*

Тип вагона	Одноэтажный вагон поезда	Двухэтажный вагон поезда	Процент увеличения (%)
Купейный вагон	36	64	77,8
СВ (спальный вагон повышенной комфортности)	18	30	66,7
Штабной купейный вагон	18–24	50	108,3–177,8

* Таблицы 1–3, графики и схемы на рисунках 1–3 составлены авторами по данным АО «ФПК».

Таблица 2

Маршруты курсирования двухэтажных поездов

Номер поезда	Наименование и маршрут поезда	Частота курсирования
№ 3/4	Фирменный поезд «Кавказ» Кисловодск – Москва	ежедневно
№ 5/6	Фирменный поезд Москва – Санкт-Петербург	ежедневно
№ 17/18	Фирменный поезд «Карелия» Петрозаводск – Москва	ежедневно
№ 21/22	Фирменный поезд «Ульяновск» Ульяновск – Москва	ежедневно
№ 22/21	Поезд Санкт-Петербург – Мурманск	ежедневно
№ 24/23	Фирменный поезд «Премиум» Москва – Казань	ежедневно
№ 25/26	Фирменный поезд «Италмас» Москва – Ижевск	ежедневно
№ 25/26	Фирменный поезд «Смена А. Бетанкур» Москва – Санкт-Петербург	пять раз в неделю, летом – ежедневно
№ 29/30	Поезд Санкт-Петербург – Белгород	ежедневно
№ 35/36	Фирменный поезд «Северная пальмира» Санкт-Петербург – Адлер	ежедневно
№ 43/44	Поезд Санкт-Петербург – Кострома	два раза в неделю, летом – ежедневно
№ 49/50	Фирменный поезд Самара – Москва	ежедневно
№ 51/52	Фирменный поезд «Сура» сообщением Пенза – Москва	ежедневно
№ 53/54	Фирменный поезд «Чувашия» Чебоксары – Москва	ежедневно
№ 57/58	Фирменный поезд «Марий Эл» Йошкар-Ола – Москва	ежедневно
№ 65/66	Поезд Тольятти – Москва	ежедневно
№ 104/104	Фирменный поезд Москва – Адлер	ежедневно
№ 107/108	Поезд Москва – Брянск	по отдельным датам, с 15.05.22–1 раз в неделю
№ 137/138	Поезд Москва – Оренбург	ежедневно. Продлен до Орска под номером № 31/32 как фирменный поезд «Оренбуржье» Москва – Самара – Орск с декабря 2022 года
№ 159/160	Поезд Петрозаводск – Москва	ежедневно
№ 175/176	Поезд Санкт-Петербург – Москва	летом два раза в неделю
№ 542/541	Поезд Адлер – Москва	в сентябре-октябре 2022 по отдельным датам
№ 569/570	Поезд Самара – Имеретинский Курорт	с июня по сентябрь 2022 по отдельным датам
№ 737/738	Скоростной поезд «Иван Паристый» Москва – Брянск	ежедневно
№ 739/740	Скоростной поезд «Иван Паристый» Москва – Брянск	ежедневно
№ 741/742	Скоростной поезд «Иван Паристый» Москва – Брянск	ежедневно
№ 737/738	Скоростной фирменный поезд Москва – Воронеж	ежедневно
№ 739/740	Скоростной фирменный поезд Москва – Воронеж	ежедневно

Таблица 3

Маршруты движения двухэтажных поездов (для проведения анализа и расчётов)

Номер поезда	Наименование и маршрут поезда	Частота курсирования
№ 3/4	фирменный поезд «Кавказ» Кисловодск – Москва	ежедневно
№ 5/6	фирменный поезд Москва – Санкт-Петербург	ежедневно
№ 22/21	поезд Санкт-Петербург – Мурманск	ежедневно
№ 24/23	фирменный поезд Москва – Казань	ежедневно
№ 49/50	фирменный поезд Самара – Москва	ежедневно
№ 104/104	фирменный поезд Москва – Адлер	ежедневно
№ 741/742	скоростной поезд «Иван Паристый» Москва – Брянск	ежедневно

ставов, которые обеспечивают высокий уровень транспортной доступности направлений.

4. Назначение двухэтажного поезда для замещения нескольких одноэтажных на направлении уже может быть целесообразным при годовом размере пассажиропотока более чем 500–600 тыс. человек в одном направлении и наличии 5–6 ежедневных поездов.

На рис. 1 показана зависимость размеров движения и пассажиропотока и потенциальная область замещения одноэтажных поездов двухэтажными составами.

Для отображения зависимости уровня транспортной доступности от регулярности транспортного сообщения была разработана и представлена номограмма на рис. 2. По оси абсцисс указана регулярность назначения поезда: от 1 раза в неделю до тактового режима. Категории уровня транспортного обслуживания населения указаны на оси ординат.

На основе данных табл. 3 построены номограммы выбранных маршрутов двухэтажных и одноэтажных поездов, представленные на рис. 3.

Анализ номограммы позволяет сделать вывод, что три маршрута обеспечивают высокий уровень соответствия критерию качества транспортного обслуживания:

- Москва – Брянск;
- Санкт-Петербург – Мурманск;
- Москва – Кисловодск.

Четыре маршрута обеспечивают очень высокий уровень критерия транспортного обслуживания:

- Москва – Санкт-Петербург;
- Москва – Казань;
- Москва – Самара;
- Москва – Адлер.

На основании анализа и разработанных номограмм зависимости уровня транспортной доступности от регулярности сообще-

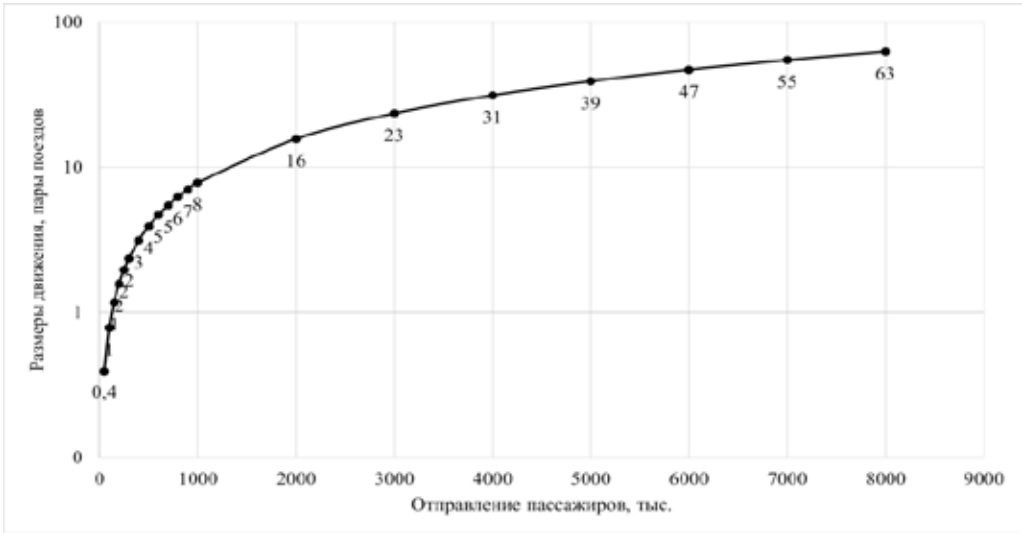


Рис. 1. Диаграмма зависимости размера движения поездов в сутки и отправленных пассажиров.



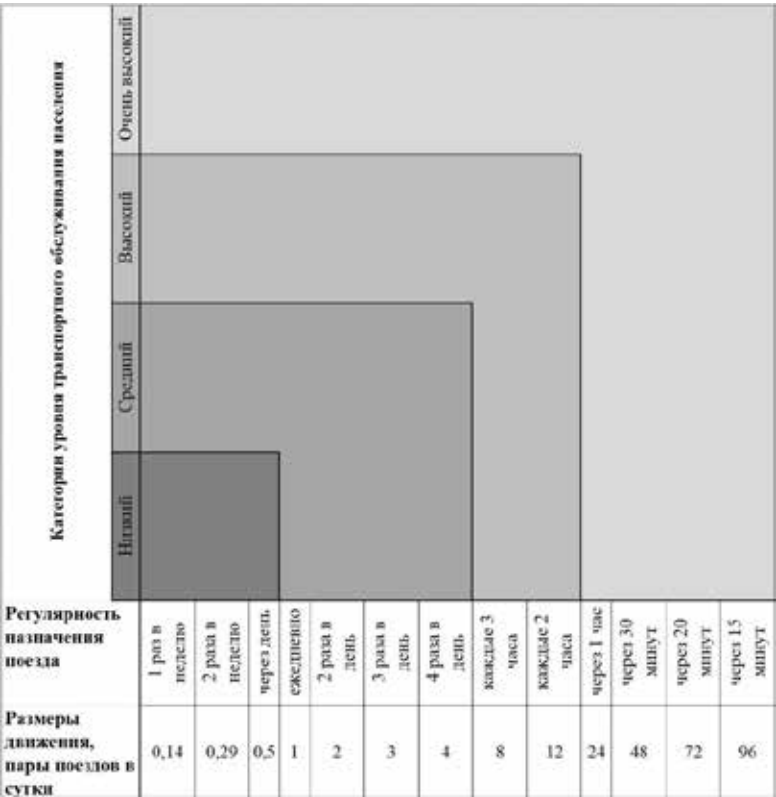


Рис. 2. Номограмма зависимости уровня транспортного обслуживания населения от регулярности назначения поездов.

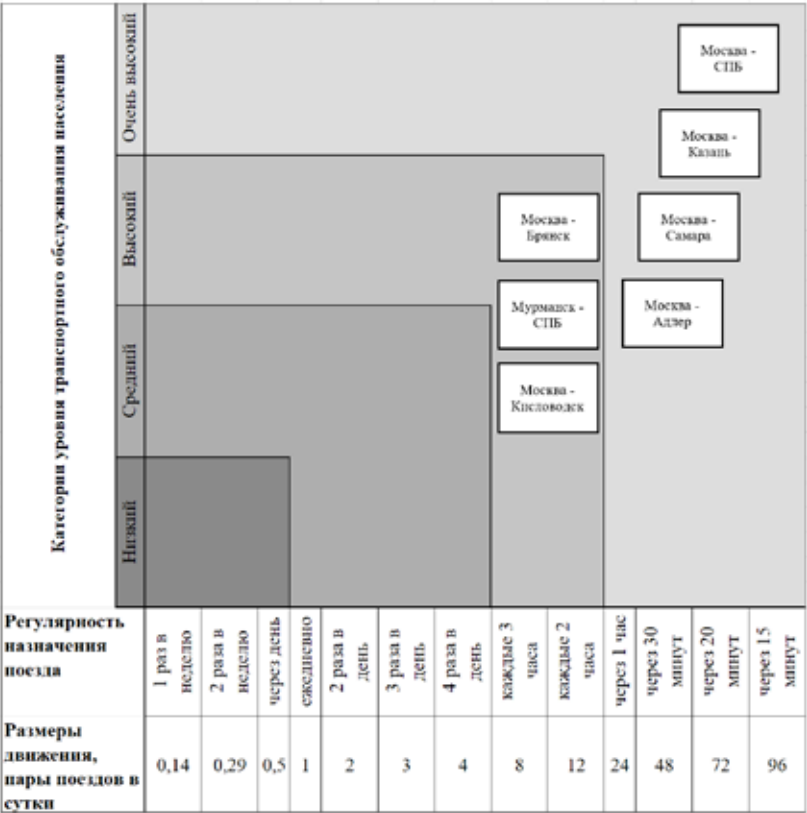


Рис. 3. Номограммы уровня транспортного обслуживания населения для выбранных двухэтажных поездов.

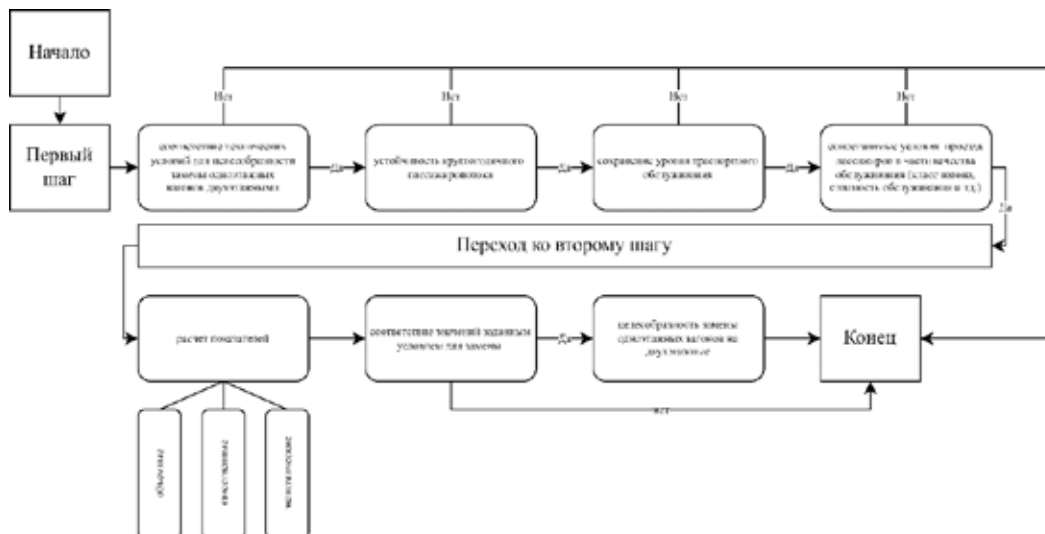


Рис. 4. Общий алгоритм оценки и выбора потенциальных возможностей назначения двухэтажных поездов [разработан авторами].

ния между транспортными центрами можно сформулировать условия замещения традиционного одноэтажного подвижного состава на более вместительные двухэтажные вагоны [5].

Для выбора потенциальных возможностей назначения двухэтажных поездов разработаны алгоритм и двушаговая модель, представленная на рис. 4.

На первом шаге последовательно проверяется соответствие выбранных полигонов организации движения двухэтажных поездов совокупности следующих условий:

1. Наличие технической возможности организации движения двухэтажных поездов в части габаритных ограничений объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (путь и искусственные сооружения, контактная сеть, габариты приближения строений), тягового подвижного состава, а также непосредственно двухэтажных пассажирских вагонов, включая их габариты, экипировку, техническое обслуживание и плановые виды ремонтов, возможности станций и остановочных пунктов к осуществлению операций по посадке-высадке пассажиров.

2. Наличие устойчивого круглогодичного пассажиропотока между транспортными центрами, формирующими маршрут следования, выявленный в настоящем разделе статус транспортных центров, а также достаточная интенсивность транспортных связей между транспортными центрами на

потенциальном маршруте следования двухэтажного поезда, предусматривающая потребность в ежедневном назначении поездов с большой регулярностью в течение суток [6].

3. Сохранение (неухудшение) уровня транспортного обслуживания населения при замещении двух одноэтажных поездов одним двухэтажным. Вызванное заменой уменьшение размеров движения не должно сопровождаться снижением категории уровня транспортного обслуживания, обозначенного на номограмме (рис. 4).

4. Составность двухэтажного поезда должна обеспечивать сопоставимые условия проезда пассажиров в замещаемых одноэтажных поездах с точки зрения количества мест, класса вагона, стоимости проезда и набора сервисных услуг.

Таким образом, последовательно оцениваются все четыре условия. При этом критическим условием потенциального назначения двухэтажного поезда является сохранение категории уровня транспортного обслуживания населения [7]. На рис. 5 представлены возможные сценарии, при которых замена поездов с одноэтажными вагонами на двухэтажные поезда возможна или невозможна.

Второй шаг предлагаемой модели выбора потенциальных направлений назначения двухэтажных поездов предусматривает выполнение расчётов по оценке объёмных, качественных и экономических показателей



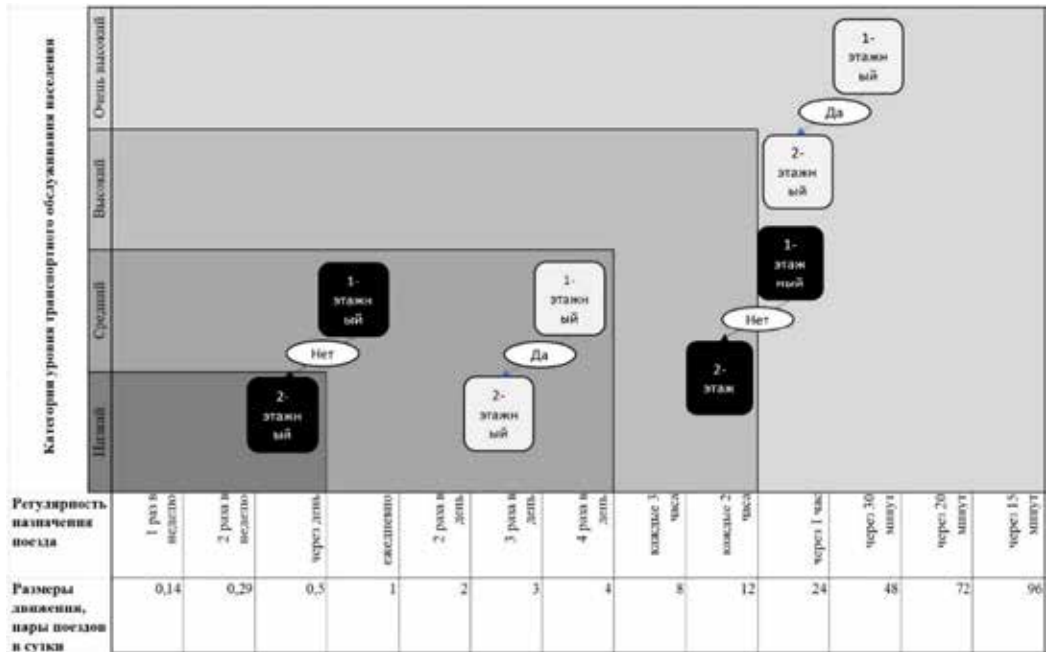


Рис. 5. Сценарии изменения категории уровня транспортного обслуживания и возможности замены одноэтажных поездов на двухэтажные [разработаны авторами].

работы поездов при различных альтернативах применения пассажирского подвижного состава, а также оценку эффекта от принятия данных решений [8].

Вместе с тем, для учёта особенностей работы двухэтажных вагонов, замещающих одноэтажные, в методику следует внести ряд дополнений:

1) необходимо учитывать, что один двухэтажный поезд на одинаковом маршруте замещает два одноэтажных поезда, обеспе-

чивая сопоставимый объём перевозок пассажиров;

2) данное обстоятельство повлечёт за собой для двухэтажного поезда двукратное снижение размеров движения, потребности в услугах инфраструктуры, локомотивной тяги и пассажирских вагонах;

3) для организации движения двухэтажного поезда потребуются применение серий тягового подвижного состава аналогичной мощности, что не повлияет на величину за-

Таблица 4
Регулярность движения железнодорожных составов в южном направлении (количество пар поездов в сутки)

Маршрут следования	Количество пар поездов в сутки	Регулярность назначения (средняя) (интервал в часах)
Москва – Адлер	7	Каждые 3 часа 40 минут
Москва – Симферополь	6	Каждые 4 часа
Москва – Новороссийск	6	Каждые 4 часа
Москва – Анапа	8	Каждые 3 часа

Таблица 5
Регулярность движения, скорректированная при введении двухэтажных поездов в южном направлении (количество пар поездов в сутки)

Маршрут следования	Количество пар поездов в сутки	Регулярность назначения (средняя) (интервал в часах)
Москва – Адлер	6	Каждые 4 часа
Москва – Симферополь	5	Каждые 4 часа 55 минут
Москва – Новороссийск	5	Каждые 4 часа 55 минут
Москва – Анапа	7	Каждые 3 часа 24 минуты

Таблица 6

Расчёт финансовых результатов от замены
одноэтажных вагонов на двухэтажные

Показатель	Значение показателя		Эффект от изменения показателя
	Одноэтажные вагоны	Двухэтажные вагоны	
Перевезено пассажиров, тыс.чел.	416,0	416,0	0,0
Пассажиро-км, млн	742,3	742,3	0,0
Количество составов, ед.	8	4	-4,0
Количество вагонов, ед.	64	32	-32,0
Эксплуатационные расходы, млн руб.	1768,9	1021,4	-747,5
Доходы, млн руб.	1725,1	1725,1	0,0
Финансовый результат (EBIT) за год, млн руб.	-43,7	703,8	747,5
Финансовый результат (EBITDA) за год, млн руб.	110,9	852,8	741,9

трат по оплате услуг локомотивной тяги. Это обусловлено отличиями в массе одноэтажных и двухэтажных вагонов в пределах 10–20 % и равного количества вагонов в составе;

4) стоимость двухэтажных пассажирских вагонов почти в два раза выше по сравнению с одноэтажными вагонами. Также выше затраты на плановые виды ТОР (экспертно – в 1,7 раза). Вместе с тем затраты на обслуживание одного двухэтажного вагона в части оплаты труда проводников ниже, чем для двух одноэтажных вагонов;

5) при определении целесообразности замещения двухэтажными поездами одноэтажных принимается условие неизменности показателей, связанных с использованием бюджета времени вагона и его технического ресурса (сохраняется одинаковый график движения и оборота пассажирского поезда,

принимается одинаковым использование технического ресурса вагона) [9].

Для апробации модели замены одноэтажных вагонов двухэтажными авторами выбраны следующие маршруты следования в южном направлении, на которых назрела необходимость назначения железнодорожных составов двухэтажной компоновки в большем объеме:

- Москва – Адлер;
- Москва – Симферополь;
- Москва – Новороссийск;
- Москва – Анапа.

Представленные маршруты полностью соответствуют условиям трёх этапов проверки первого шага алгоритма, за исключением одного – соответствие (неухудшение) первоначальной категории уровня транспортного обслуживания населения.

Таблица 7

Суммарный инвестиционный эффект от замены
одноэтажных вагонов на двухэтажные

Показатель	Значение показателя		Эффект от изменения показателя
	Одноэтажные вагоны	Двухэтажные вагоны	
Потребное количество вагонов, ед.	64	32	-32
Средняя стоимость приобретения вагона, млн руб.	55,4	106	50,6
Затраты на приобретение вагонов, млн руб.	3545,6	3392	-153,6
Потребное количество поездных локомотивов, ед.	8	4	-4
Средняя стоимость приобретения поездного локомотива, млн руб.	172,3	172,3	0,00
Затраты на приобретение поездных локомотивов, млн руб.	1378,7	689,3	-689,3
Экономия инвестиционных затрат на подвижной состав, млн руб.	-842,9		



Для определения категории уровня транспортного обслуживания населения в табл. 4 представлена возможная регулярность движения (количество пар поездов в сутки).

Согласно номограмме, представленной на рис. 3, все маршруты следования попадают в категорию «высокий уровень». В случае замены двух одноэтажных поездов одним двухэтажным на представленных маршрутах количество пар поездов в сутки, а также регулярность назначения уменьшаются (табл. 5).

Полученные результаты позволяют сделать выводы, что маршруты Москва – Симферополь и Москва – Анапа в случае замены двух одноэтажных поездов одним двухэтажным понижаются в уровне транспортного обслуживания на одну категорию: от высокого до среднего. Данное условие является критическим в модели, поэтому указанные направления исключаются из алгоритма [10; 11].

Два маршрута Москва – Адлер и Москва – Новороссийск допускаются до второго шага алгоритма для проведения расчётов.

Для проведения расчётов выбран маршрут Москва – Адлер.

Результаты расчётов по сравнению вариантов организации перевозок на маршруте Москва – Адлер в одноэтажном и двухэтажном подвижном составе, представлены в табл. 6 и 7.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Таким образом, проведённое исследование позволило разработать алгоритм и модель оценки целесообразности замещения традиционного одноэтажного подвижного состава на двухэтажный для полигонов с устойчивым высоким пассажиропотоком при сохранении уровня качества транспортного обслуживания населения. Данное исследование проведено с целью обоснования необходимости замены одноэтажных вагонов на двухэтажные в условиях повышенного спроса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Суворова Т. А. Двухэтажные железнодорожные пассажирские поезда. История возникновения и развития // Вестник ПДАБА. – 2011. – № 8 (161). – С. 55–64. EDN: WINLGT.
2. Двухэтажные пассажирские вагоны из Герлица // Железные дороги мира. – 2008. – № 6. – С. 37–43. [Электронный ресурс]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2008-06_37-43.pdf. Доступ 24.08.2023.
3. Чевалков Н. П. Программа региональных моторвагонных поездов компании Alstom // Железные дороги мира. – 2008. – № 12. – С. 26–33. [Электронный ресурс]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2008-12_26-33.pdf. Доступ 24.08.2023.
4. Кузнецов А. В., Филипенко С. А., Баскин Р. В., Куренков П. В. Взаимодействие ОАО РЖД и собственников подвижного состава // Экономика железных дорог. – 2010. – № 6. – С. 50. EDN: MWLBGR.
5. Писаревский Г. Е., Глибин А. В., Кулик Н. Ф. Стоимостная оценка основных показателей использования подвижного состава ОАО «РЖД» // Бюллетень транспортной информации. – 2008. – № 3 (153). – С. 27–29. EDN: NCXVSH.
6. Павельев В. В. Модель комплексного оценивания и выбора параметров перспективного подвижного состава РЖД // Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН; под общей редакцией С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. Том 1. – М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2013. – С. 374–379. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_22401763_98620889.pdf [доступ к тому в целом]. Доступ 24.08.2023.
7. Выдашенко Л. А. Меры регулирования собственного подвижного состава на инфраструктуре ОАО РЖД // Постулат. – 2018. – № 4–1 (30). – 8 с. [Электронный ресурс]: <https://www.e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/view/1328/1359>. Доступ 24.08.2023.
8. Демьянов А. А., Демьянов А. А. Повышение экономической эффективности эксплуатации подвижного состава и рельсовых путей ОАО «РЖД» / Материалы IV Международной научно-практ. конференции, Ростов-на-Дону, 05–07 сентября 2012 года. – Ростов на Дону: ДГТУ, 2012. – 361 с. С. 55–57. ISBN 978-5-7890-0712-9. EDN: XATRQT.
9. Чеченова Л. М., Сиверцева Е. С. Особенности обновления основных компонентов инфраструктуры железнодорожного транспорта // Вопросы новой экономики. – 2022. – № 2 (62). – С. 30–37. EDN: NQGBFT.
10. Чернышевская Ю. А. Новые вагоны пассажирам // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 51. EDN: VKJHJU.
11. Комарова Т. О., Кузнецова А. А. Инновационные подходы к цифровизации по отслеживанию жизненного цикла подвижного состава // Сб. научных статей 8-й Всероссийской национальной научно-практ. конференции. В 4-х томах. Под редакцией В. М. Кузьминой. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 258–261. EDN: LZMIXU. ●

Информация об авторах:

Рахаев Владислав Алексеевич – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, v.rakhaev@gmail.com.
Кузина Елена Леонидовна – доктор экономических наук, профессор, доцент кафедры менеджмента качества Российского университета транспорта, Москва, Россия, kuzina2008@yandex.ru.

Василенко Марина Александровна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической и социальной теории Ростовского государственного медицинского университета, Ростов-на-Дону, Россия, margo2026@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 22.08.2022, актуализирована 07.09.2023, одобрена после рецензирования 27.11.2023, принята к публикации 28.11.2023.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.022.3:656.224/225:656.072.4

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-9>

Унификация составов пассажирских поездов при организации нерегулярных железнодорожных перевозок



Ольга ПАНОВА



Сергей ВАКУЛЕНКО



Павел ЕГОРОВ

Ольга Николаевна Панова¹, Сергей Петрович Вакуленко², Павел Александрович Егоров³

¹ ООО «Грандпроект», Москва, Россия.

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

✉ ² post-iuit@bk.ru.

АННОТАЦИЯ

Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте можно разделить на регулярные – рабочие, рекреационные, поездки выходного дня, и нерегулярные – туристические, вахтовые, миграционные и прочие. Организация регулярных перевозок базируется на средне- и долгосрочном планировании объёмов перевозок, что неприменимо к нерегулярным.

Определение оптимальной схемы состава пассажирского поезда, числа основных типов вагонов – купейных и плацкартных – является одной из ключевых задач при организации железнодорожных пассажирских перевозок, в том числе и нерегулярных.

Одним из перспективных направлений развития железнодорожных пассажирских перевозок в дальнейшем сообщении является унификация составов пассажирских поездов, позволяющая увязывать составы в единый оборот, тем самым снижая время безоперационного простоя и повышая эффективность использования подвижного состава.

Работы по оценке оптимальной составности поезда дальнего сообщения проводились для регулярных перевозок

на железнодорожном транспорте. Тем не менее, учитывая ряд особенностей нерегулярных пассажирских перевозок, таких как краткосрочное планирование их объёмов, высокая дифференциация численности групп пассажиров, возможность использования свободных мест в поездах существующих назначений, необходимо повторно оценить эффективность использования унифицированных схем составов пассажирских перевозок при данных условиях.

Разработка типовых композиций составов пассажирских поездов производится с использованием метода кластерного анализа. Предлагается использование трех унифицированных композиций. При разработке предложений по унификации схем составов пассажирских поездов в обращении учитывается дополнительный пассажиропоток нерегулярных перевозок, который не может быть освоен за счёт резерва свободных мест. Результаты исследования применены к фрагменту Северо-Восточного полигона железных дорог.

Ключевые слова: нерегулярные железнодорожные пассажирские перевозки, композиции пассажирских поездов, резерв свободных мест в пассажирских поездах, унификация составов пассажирских поездов.

Для цитирования: Панова О. Н., Вакуленко С. П., Егоров П. А. Унификация составов пассажирских поездов при организации нерегулярных железнодорожных перевозок // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-9>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

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

ВВЕДЕНИЕ

Нерегулярные железнодорожные пассажирские перевозки являются важной составляющей общих объёмов пассажирских перевозок.

Исследования в области совершенствования пассажирских перевозок рассматривают, как правило, разработку оптимального плана формирования пассажирских поездов, используя различные критерии оптимальности и ограничения.

Так, например, в исследованиях разработаны теоретические и методические основы выбора оптимального плана формирования пассажирских поездов дальнего следования, в целях увеличения доходности пассажирских перевозок, при повышении степени удовлетворения спроса пассажиров на проезд в вагонах разных типов [1, 2]. Другое исследование посвящено методу оптимизации схемы обращения пассажирских поездов дальнего следования на полигоне железных дорог, исходя из максимально удобного для пассажиров времени отправления и прибытия поездов на станции [3]. Ряд исследований посвящён разработке научно-методических основ системы освоения потоков пассажиров, багажа и грузобагажа на сети железных дорог при обеспечении беспересадочного сообщения пассажиропотоков заданного уровня и удовлетворении спроса на места в вагонах разных типов [4–6]. Содержащиеся в них методики применимы как для моделей расчета плана формирования с фиксированными схемами составов поездов, так и с определением схем составов [4–6]. В ряде научных публикаций разработаны научно-методические основы оценки эффективности организации скоростных пассажирских железнодорожных перевозок в дальнем сообщении [7; 8].

Тем не менее, используемые методики, в основе которых лежит достоверное прогнозирование и планирование, мало применимы для нерегулярных перевозок. Современные методы планирования пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте нуждаются в оптимизации и переработке для возможного использования в планировании нерегулярных железнодорожных пассажирских перевозок [9].

Одним из наименее проработанных на сегодняшний день вопросов остаётся оценка эффективности организации нерегулярных пассажирских перевозок при реализации унифицированных схем составов пассажирских поездов дальнего следования. Их использование для поездов различных назначений позволит производить их увязку в единый оборот внутри каждой группы, а также унифицировать процесс обработки пассажирских поездов в пунктах их формирования и оборота. В одном из исследований указывалось на повышение эффективности функционирования пассажирских компаний за счёт снижения числа составов пассажирских поездов в обороте, которое может быть достигнуто при унификации их схем [10]. Такой подход позволит сократить необходимое количество пассажирских составов, освободить пути формирования/отстоя, распределить виды услуг, предоставляемых в пути следования по типам составов. Возможность унификации схем составов пассажирских поездов можно рассмотреть с применением алгоритмов кластеризации.

Целью исследования является разработка подходов к определению оптимальной составности при реализации унифицированных схем составов пассажирских поездов дальнего следования при осуществлении нерегулярных пассажирских перевозок.

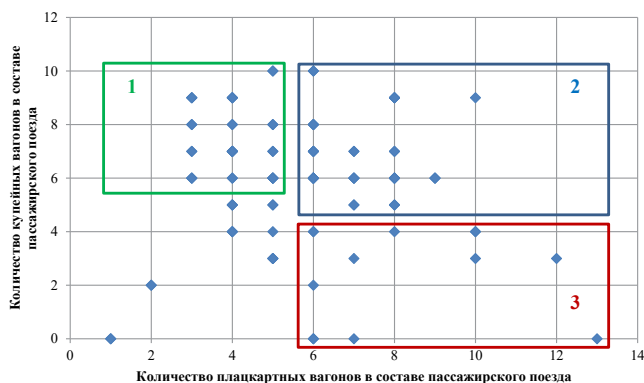


Рис. 1. Зависимость количества купейных вагонов в схеме состава от количества плацкартных.

Таблица 1

Фрагмент выборки резерва свободных мест в поездах по назначениям

№ прямого поезда	Число дней обращения в месяц	Резерв мест		Число вагонов в поезде				Потребное число мест		Итого избыток/недостаток мест	
		К	ПЛ	Л	К	ПЛ	О	К	ПЛ	К	ПЛ
Корреспонденция А1											
42	4	453	324	1	10	5	0	454	819	302	-20
376	4	302	475	0	7	6	1				
Корреспонденция А2											
312		456	1204	0	6	7	0	173	445	1579	2946
310	15	1296	2187	0	8	9	0				
...											
Корреспонденция А5											
нет	4	0	0					42	57	-42	-57
...											
Корреспонденция А7											
нет	4	0	0					75	144	-75	-144

РЕЗУЛЬТАТЫ

Визуально показать зависимость количества различных типов вагонов в составе пассажирского поезда друг относительно друга крайне затруднительно, поэтому, в качестве примера, рассмотрим зависимость количества купейных вагонов в составе поезда от количества плацкартных (данные типы вагонов составляют основную долю от общего числа пассажирских вагонов в составе поезда).

При рассмотрении в работе [11] Северо-Восточного полигона железных дорог был выявлен ряд закономерностей в структуре пассажиропотока, а также определены необходимые мероприятия по изменению составности пассажирских поездов дальнего следования на выбранном направлении.

Для повышения эффективности пассажирских перевозок в дальнейшем сообщении следует также оценить влияние унификации составов поездов на освоение дополнительного пассажиропотока при организации нерегулярных железнодорожных перевозок.

Для определения числа назначений и составности пассажирских поездов на заданном направлении необходимо получить следующие исходные данные:

- «месячные корреспонденции пассажиропотоков в месяц максимальных перевозок;
- резерв свободных мест в пассажирских поездах регулярного обращения;

- составность пассажирских поездов регулярного обращения;

- ограничения по инфраструктуре (пропускная способность участка, длины пассажирских платформ и т. д.)» [12], определённые с использованием методики¹.

Резерв свободных мест в поездах по назначениям приведён в табл. 1. Для оценки возможности организации перевозки пассажиров без увеличения числа и составности пассажирских поездов используем условие наличия резерва свободных мест. По итогам расчётов «корреспонденции пассажиропотоков А1 (К) и А2 могут быть организованы за счёт использования свободных мест» [11].

В более ранних исследованиях была произведена «оценка законов распределения технико-технологических параметров нерегулярных железнодорожных пассажирских перевозок» [13, 14], на основе которой была определена составность поездов рассматриваемого направления. Распределение вагонов в составе поезда можно выразить зависимостью числа купейных и плацкартных вагонов, представленной на рис. 1.

¹ Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования. Утверждена приказом Минтранса России от 18 июля 2018 года № 266. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/542629643?ysclid=lq2gcsb059594241>. Доступ 24.07.2023.



Таблица 2

Унифицированные схемы составов пассажирских поездов

Класс	Люкс	Купе	Плацкарт	Сидячий	Сумма
«первый»	1	10	3	0	14
«второй»	0	8	7	0	16
«третий»	0	4	7	1	12

Таблица 3

Фрагмент выборки пассажирских поездов

№ поезда	Существующая схема состава				Вместимость	Класс унифицированной схемы
	Люкс	Купе	Плацкарт	Общие		
№ 89/90	0	8	11	1	954	2
№ 309/310	0	8	9	0	774	2
№ 311/312	0	8	6	0	612	1
№ 375/376	0	7	6	1	648	2
№ 565/566	0	4	11	0	738	3
№ 593/594	0	1	10	0	576	3

Представленное распределение необходимо разделить на четыре кластера, которые далее именуется как классы:

- «первый» с большим количеством купейных вагонов;
- «второй», включающий в себя массовые схемы составов с примерно одинаковым количеством плацкартных и купейных вагонов;
- «третий» с большим количеством плацкартных вагонов;
- «четвёртый» с большим количеством вагонов для сидения (на рис. 1 не представлен).

Для решения задачи кластеризации предпочтительным считаем метод К-средних, так как при сравнении преимуществ и недостатков рассмотренных методов недостатки метода К-средних нивелируются способом его применения.

В табл. 2 представлены результаты расчёта унифицированных схем составов пассажирских поездов по четырём классам.

На основе проведённого анализа были получены унифицированные схемы составов пассажирских поездов дальнего сообщения при организации нерегулярных перевозок на Северо-Восточном полигоне железных дорог [11] и проведена привязка всех рассматриваемых пассажирских поездов к унифицированным схемам (см. табл. 3).

Данные анализа и расчётов полученных результатов показали, что к первому классу унифицированных схем относится большинство фирменных пассажирских поездов, ко второму и третьему – скорых и дальних, а к четвёртому – дневные пассажирские поезда, то есть, схемы составов по типам поездов примерно похожи между собой. Для сокраще-

ния количества типов пассажирских поездов предлагается перейти только к одной классификации по классам унифицированных схем, тогда класс поезда будет определять не только его схему, но и тип.

В рамках унифицированных схем может потребоваться увеличение числа вагонов в составе для пассажирских поездов №№ 309/310, 311/312, 375/376 в сумме на три вагона «купе» и три «плацкарт». При использовании унифицированных схем составов для данных пассажирских поездов будет избыток вагонов класса «люкс», «купе» и недостаток вагонов класса «общий» (таблица 4).

Общесетевая модель для регулярных пассажирских перевозок требует корректировки для отдельных направлений при нерегулярных пассажирских перевозках в связи с дефицитом вагонов классов «купе» и «плацкарт».

С учётом предложенной экономической модели распределения следует присвоить поезду 311/312 унифицированную «вторую» схему, тогда изменение составности пассажирских поездов примет вид, приведённый в таблице 5.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Несмотря на увеличение числа вагонов в составе поездов для отдельных пассажирских поездов, при использовании унифицированных схем в масштабах всей сети железных дорог простой в пунктах формирования и оборота снижается значительно, чем при парной увязке.

В качестве основного показателя эффективности применения методики унификации схем составов пассажирских поездов следует

Таблица 4

Составность пассажирских поездов при унификации их схем

№ поезда	Количество вагонов в составе поезда по классам											
	Л			К			П			О		
	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-
309/310	0	0	0	7	8	1	6	7	1	0	0	0
311/312	0	1	1	8	10	2	6	3	-3	0	0	0
375/376	0	0	0	6	8	2	6	7	1	1	0	-1
Итого			1			5			-1			-1

Таблица 5

Изменение составности поездов при унификации схем

№ поезда	Количество вагонов в составе поезда по классам											
	Л			К			П			О		
	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-	факт.	униф.	+/-
309/310	0	0	0	7	8	1	6	7	1	0	0	0
311/312	0	0	0	8	8	0	6	7	1	0	0	0
375/376	0	0	0	6	8	2	6	7	1	1	0	-1
Итого			0			3			3			-1

использовать число пассажирских составов в обороте, по которому и определяется потребность в вагонном парке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пазойский Ю. О., Глазков Д. В. Математическая модель оптимизации пассажирских перевозок в дальнейшем сообщении // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 2. – С. 46–47.

2. Пазойский Ю. О., Глазков Д. В. Математическая модель установления функции спроса пассажиров на перевозки в дальнейшем сообщении // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 6. – С. 46–47.

3. Шмаль В. Н. Оптимизация схем обращения пассажирских поездов // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 6. – С. 61. EDN: OYYPJD.

4. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Милков А. Ю. Унификация схем составов пассажирских поездов Дальнего сообщения // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2015. – № 5. – С. 7–13. EDN: TRRUUL.

5. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Милков А. Ю. Увязка составов пассажирских поездов разных назначений в общий оборот // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2015. – № 9. – С. 7–14. EDN: UILSED.

6. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Батулин А. П. Максимизация числа пассажирских поездов Дальнего следования в период роста пассажиропотоков за счет интенсификации использования составов поездов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 9–1 (23). – С. 166–171. EDN: XIKKET.

7. Сидраков А. А. Оптимум для конкуренции // Мир транспорта. – 2008. – Т. 6. – № 3 (23). – С. 94–98. EDN: KDSYTZ.

8. Сидраков А. А. Скоростные перевозки и уровень тарифов // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – № 1 (39). – С. 106–109. EDN: OWZJBN.

9. Ильягуев С. П., Сидраков А. А. Проблемы и перспективы развития железнодорожных туристических перевозок // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки: труды международной научно-практ. конференции, посвящённой 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – С. 165–168. EDN: PXYDFS.

10. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Сидраков А. А., Шаров В. А. Алгоритм оптимизации числа составов пассажирских поездов в обороте с учетом возможного изменения времени отправления и прибытия поездов на конечные станции // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2017. – № 3–5 (36). – С. 112–116. EDN: YJLSQB.

11. Вакуленко С. П., Ильягуев С. П., Сидраков А. А. Организация нерегулярных железнодорожных перевозок // Экономика железных дорог. – 2021. – № 6. – С. 79–87. EDN: SERZCT.

12. Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Сидраков А. А. [и др.] Железнодорожные пассажирские перевозки (избранные главы): Учеб. пособие / под ред. д. т. н., проф. Ю. О. Пазойского. – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – 407 с. EDN: QXRJVV.

13. Ильягуев С. П. Оценка закона распределения числа вагонов в составе поездов при нерегулярных железнодорожных пассажирских перевозках // Инновации. Наука. Образование. – 2022. – № 52. – С. 448–451. EDN: HCCEGB.

14. Ильягуев, С. П. Анализ нерегулярных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. – 2021. – № 7. – С. 68–74. EDN: DGZXFY.

Информация об авторах:

Панова Ольга Николаевна – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Грандпроект»; доцент Российской государственной академии транспорта, Москва, Россия, post-iiuit@bk.ru.

Вакуленко Сергей Петрович – кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, post-iiuit@bk.ru.

Егоров Павел Александрович – заместитель директора Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, post-iiuit@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 14.11.2022, одобрена после рецензирования 14.04. 2023, принята к публикации 21.07.2023.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.1/5

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-10>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 84–92

Разработка метода оценки качества транспортного обслуживания населения в системах планирования городских транспортных систем

**Сергей Александрович Андреев***Международный координационный совет по трансъевразийским перевозкам;
ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта»,
Москва, Россия.*✉ andreevsa@niiat.ru.

Сергей АНДРЕЕВ

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются вопросы оценки воспринимаемого качества услуг наземного городского пассажирского транспорта. Реализация маркетингового подхода к развитию транспортных услуг обозначает необходимость учёта мнения потенциального потребителя относительно планируемой или совершенной поездки. Встраивание воспринимаемого качества транспортных услуг в процессы формирования и реализации городской транспортной политики позволит более эффективно формировать устойчивое транспортное поведение, кон-

центрируясь на принятии мер, дающих наибольшую отдачу, сохраняя лояльность имеющихся пассажиров и привлекая новых.

Исходя из ориентированности транспортной услуги на конечного потребителя, в статье проводится анализ методов оценки показателей качества для транспортной цепочки. Рассматриваются вопросы использования гравитационной модели для оценки качества мультимодальной транспортной цепочки с учётом точки зрения отдельного пассажира и групп пользователей.

Ключевые слова: городские транспортные системы, пассажирский транспорт, качество транспортных услуг, воспринимаемое качество, концепция «избегай – сдвигай – улучшай».

Для цитирования: Андреев С. А. Разработка метода оценки качества транспортного обслуживания населения в системах планирования городских транспортных систем // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-10>.

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

Городской пассажирский транспорт, являясь неотъемлемой частью системы жизнеобеспечения города, подвержен широкому кругу внешних воздействий, которые влияют на транспортный спрос. В этой связи возрастает значимость взаимной увязки целей и возможностей городских транспортных администраций, потенциала транспортных компаний и ожиданий населения от предоставляемой ему транспортной услуги, позволяющей сокращать избыточное число поездок личным автотранспортом.

Такая увязка осуществляется в рамках маркетингового подхода к управлению городским пассажирским транспортом общего пользования. Этот подход базируется на положениях концепции Avoid-Shift-Improve (избегай – сдвигай – улучшай) [1], являющейся основой выработки комплекса мер по созданию устойчивых систем городского транспорта, в том числе, путем изменения транспортного поведения населения и переключения пассажиропотока с личного на общественный транспорт.

Выстраиваемая при этом система транспортного планирования и предоставления транспортных услуг должна базироваться на учёте различных аспектов оценки качества транспортного обслуживания населения – предоставляемого качества транспортной услуги (т. е. уровня качества, обеспечиваемого поставщиками услуг), целевого качества (т. е. стандартов качества, установленных регуляторами), воспринимаемого качества (т. е. качества, субъективно воспринимаемого клиентами) и, наконец, желаемого качества (т. е. характеристики ожиданий и желаний потенциальных и фактических пассажиров).

Принятие утверждения о том, что пассажир как лицо, принимающее решения, рационален, и, соответственно, из всего множества альтернатив способов передвижения и маршрутов поездки он выберет наилучшую для себя, предполагает необходимость формального описания подобного процесса принятия решения, что определяет *цель* исследования. В то же время субъективность каждой из частных оценок определяет целесообразность формализации показателей воспринимаемого качества [2–6].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Показатели качества транспортного обслуживания в городской транспортной политике

Оценка качества транспортного обслуживания населения может быть использована как для целей, стоящих перед транспортными администрациями городов (планирование перспектив развития городских транспортных систем, разработка документов транспортного планирования, мониторинг работы городского транспорта и т. д.), так и для целей транспортных предприятий, готовящих предложения по организации новых маршрутов и изменению параметров существующих.

Соответственно, возникает необходимость разработать механизм оценки качества, воспринимаемого пользователем и встроить его в процессы планирования, оказания и контроля предоставления транспортных услуг.

В табл. 1 представлен анализ структуры показателей качества транспортных услуг по материалам методик, используемых в России, ЕС, КНР и США.

Результаты анализа свидетельствуют об отсутствии в настоящее время единой номенклатуры используемых показателей качества.

Несомненно, что организаторы перевозок, перевозчики и население оценивают качество транспортных услуг, исходя из разных целей, стоящих перед ними. В частности, в России стандарт качества транспортного обслуживания населения устанавливается городской (региональной) администрацией для перевозчиков, работающих на отдельных маршрутах. В то же время конкретного пользователя в большей степени интересует качество обслуживания не на отдельном маршруте или в транспортной системе в целом, а на его собственном маршруте поездки («транспортной цепочке»), который может включать участки различных маршрутов, нескольких видов городского пассажирского транспорта, передвижение с использованием средств активной мобильности или индивидуальной мобильности, а также пересадки, качество которых также должно быть учтено. В этой связи, для получения более полной картины, связанной с показателями качества обслуживания пассажиров, необходимо обеспечивать рассмотрение вопросов качества транспортных



Таблица 1

Показатель качества	Измеритель	ЕС*	РФ**	КНР***	США****
Доступность	частота и надёжность обслуживания	+	+		+
	время работы	+	+		+
	удобство посадки и высадки	+			+
	покрытие маршрутной сетью	+			+
	ценовая доступность	+	+	+	+
Информационное сопровождение	расстояние от/до конечной и начальной точек маршрута				
	на остановочных пунктах	+	+		+
	онлайн	+	+		
	расписание, маршруты	+		+	+
	время ожидания, задержки	+			+
Время	своевременное информирование об изменениях				+
	в пути	+		+	+
	на остановке/подходе к ней/при пересадке	+		+	
	своевременное выполнение рейсов	+	+	+	+
	относительность к другим способам передвижения				
Комфорт	температура, вентиляция/кондиционирование в салоне, отсутствие запахов и вибрации	+	+	+	+
	наполняемость салона / возможность занять посадочное место	+	+	+	+
	внешний вид транспортного средства (чистота, окраска, отсутствие посторонних надписей)	+			+
	пригодность для поездки в особых случаях (с багажом, детской коляской, с велосипедом /СИМ)	+	+		
Обслуживание клиентов	культура обслуживания	+	+		+
	отзывчивость персонала	+			+
	наличие обратной связи	+			+
	возможность улучшения сервиса посредством обратной связи				+
Безопасность	на остановочных пунктах	+		+	+
	на подходе к остановочным пунктам				
	в движении для ТС	+		+	+
	в движении для пассажира	+		+	
	в салоне ТС (противоправные действия)	+		+	+
Воздействие на окружающую среду	экологичность услуги в целом	+	+		
	снижение уровня заторов	+			
	снижение уровня выбросов	+			

* На основе регламента EC EN 13816:2002 «Определение, целеполагание и измерение качества услуг» (EN 13816:2002. Transportation – Logistics and services – Public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement).

** На основе Социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» (утверждённого распоряжением Минтранса России от 31 января 2017 года № НА-19-р с изменениями на 10 марта 2021 года).

*** На основе методики оценки воспринимаемого качества услуг автобусного транспорта для г. Пекин (КНР), изложенного в работе J. Wen и др. [9].

**** На основе детерминант, определённых в США Руководством по измерению удовлетворённости пользователя и качества услуги (Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality).

услуг в более широком контексте, как показано на рис. 1.

Помимо этого, разные категории пользователей и в разных обстоятельствах по-разному воспринимают показатели качества

предоставляемой услуги. Как правило, для оценки качества применяется принцип, в соответствии с которым определяются фокусные группы потенциальных пассажиров (занятые в экономике, студенты, пенсионеры

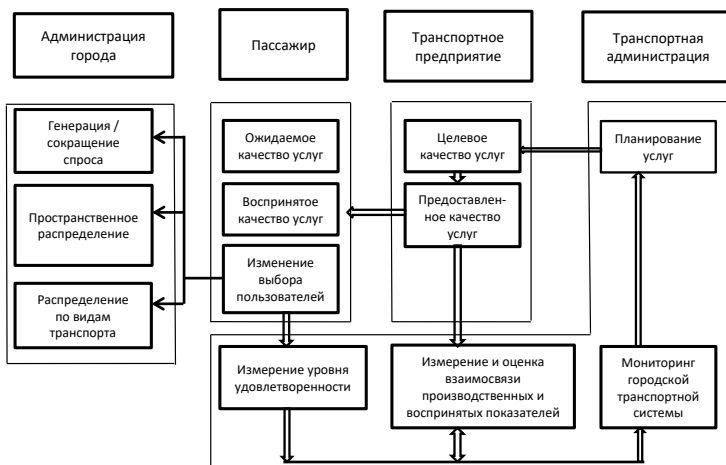


Рис. 1. Схема планирования, предоставления и контроля качества транспортных услуг на основе «петли качества» с учётом обратной связи [выполнено автором].

и т. д.). Для каждой из этих групп определяются точки образования и поглощения транспортного спроса и его характеристики (требования к качеству, цене, доступности и т. д., временные характеристики распределения спроса для каждой группы). По результатам такой декомпозиции и последующего агрегирования определяются требования к маршрутной сети и обслуживанию на ней.

Однако, если администрации и операторы не учитывают требования пользователей к качеству предоставляемых услуг, то это может приводить к тому, что устойчивое транспортное поведение населения не будет формироваться. Несмотря на то, что транспортная услуга будет приниматься пользователями в существующем варианте, при росте благосостояния населения или улучшении иных условий, связанных с социальной дифференциацией, в обществе может происходить отказ от услуг городского транспорта общего пользования в пользу использования легкового автотранспорта (личный автомобиль, такси, каршеринг и т. п.). Такая тенденция в перспективе негативно влияет на широкий спектр проблем, связанных с дорожным движением и экологией [7].

Комплексный подход, направленный на включение воспринимаемых показателей качества транспортных услуг в систему проектирования городских систем пассажирского транспорта и контроля за предоставлением этих услуг предполагает выделение следующих подзадач:

- определение перечня показателей качества транспортных услуг, подлежащих оцен-

ке, их внутренней иерархии и целевых показателей;

- определение принципов оценки показателей качества (использование производственных показателей, получение количественных показателей посредством проведения опросов, метод «тайного покупателя» и т. д.);

- определение аудитории пользователей транспортных услуг и ее декомпозиция (по возрастным, социальным критериям, целям и обстоятельствам поездки);

- установление взаимосвязей между показателями качества с учётом степени их восприятия каждой из групп пользователей;

- формирование математического аппарата, используемого для оценки качества транспортных услуг для каждой категории пользователей.

При этом важно учесть, что с ростом благосостояния потребители постоянно повышают ожидания качества во всех сферах, в том числе на рынке транспортных услуг. Поэтому рынок транспортных услуг представляет динамическую систему – на неё непрерывно воздействует общественное, экономическое и социальное развитие, а также отраслевые меры, непосредственно предпринимаемые в транспортной отрасли.

Изменение уровня благосостояния (как общества, так и отдельного индивида), демографические особенности общества меняют восприятие качества транспортных услуг. Резкие его изменения вследствие изменения маршрутной сети, расписаний, тарифов и т. д., как правило, настороженно восприни-



маются пользователями, если только они не приводят к столь же кардинальному повышению качества обслуживания.

В этой связи используется ряд рекомендаций, устанавливающих рамки грядущих изменений транспортных услуг (например, реформами не рекомендуется затрагивать более 15–20 % маршрутной сети)¹.

В значительной части, все расчёты, необходимые для оценки качества предоставляемых услуг наземного городского пассажирского транспорта, сейчас делаются для мономодальных маршрутов, и влияние характеристик того или иного вида транспорта на выбор потребителей пока представляется недостаточно изученным. Можно, однако, предположить, что выбор маршрута исходя из обеспечиваемого им интегрального качества транспортных услуг, также возможно формализовать, используя следующие показатели – доступность транспортного средства, время в пути, уровень обслуживания, комфорт, визуальная приемлемость, безопасность на остановке и в пути следования, экологичность, персональные предпочтения, количество пересадок, их надёжность и удобство.

Методы оценки качества транспортных услуг

Для получения данных о предоставляемом и воспринимаемом качестве транспортных услуг могут использоваться опросы пользователей, хотя такой метод получения данных может давать достаточно субъективные результаты и, кроме того, требует формулирования для респондентов понятных им вопросов. Фигурирующие в этих вопросах показатели не должны быть исключительно общими (к примеру, «доступность» или «надёжность») поскольку в таком случае они могут быть по-разному истолкованы отвечающими на вопросы пассажирами, и с другой стороны – они должны быть легко количественно оцениваемыми.

Методы экспертной оценки показателей качества предполагают использование коэффициентов их относительной важности (весомость критериев) или абсолютной значимости (балльная оценка). Такие методы используются как для сравнения показателей

качества транспортных услуг до и после принятия соответствующих регуляторных мер, так и для оценки динамики изменения интегрального показателя качества [8; 9].

В то же время при построении интегральных показателей качества важно сформировать набор показателей-компонентов, обеспечивающих полное покрытие потребностей пользователя. В случае их разнонаправленности в формулу расчёта интегрального показателя качества вводятся соответствующие корректирующие коэффициенты.

Алгоритмы оценки транспортных проектов и программ с использованием сложных (составных) критериев изложены, например, в работе². При анализе мнений ограниченного числа опрашиваемых квалифицированных экспертов, к примеру, могут использоваться метод Дельфи (рис. 2) или метод попарных сравнений. При этом в обоих случаях соответствующее внимание должно уделяться вопросу отбора опрашиваемых с целью формирования репрезентативной выборки.

Важным показателем качества поездки является её *продолжительность (время)*. Однако этот показатель носит многокомпонентный характер, каждый из элементов которого воспринимается пассажиром по-разному [10–12]. Поэтому те из показателей качества, которые используют временную основу, должны учитывать субъективное восприятие пассажиром времени, проведённого на разных стадиях поездки: на остановке при ожидании транспортного средства, на подходах к ней, в процессе прямой поездки или поездки с пересадкой, время пересадки и ожидания стыковочного рейса. При этом значения показателей качества, связанные с восприятием ожидания, могут иметь нелинейную зависимость от времени ожидания.

Это касается, в частности, транспортной цепочки, где приемлемость пересадки для пассажира может зависеть не только от внешних факторов (обустроенность пересадочных пунктов, погодные условия, расстояние пешего передвижения при пересадке), но и от общей продолжительности поездки, то есть от доли пути, проведённой пассажиром в салоне одного и того же транспортного средства.

¹ Руководство по составлению рациональных схем автобусных маршрутов в городах. М.: НИИАТ Минавтотранса РСФСР, 1984.

² Донченко В. В. Устойчивые городские транспортные системы: изменение парадигмы планирования и развития городского транспорта: Учебник. – М.: Радар – 2023–402 с. ISBN-978-5-6048/401-2-2.



Рис. 2. Схема использования метода Дельфи [составлено автором].

Разное восприятие пользователем времени, затрачиваемого на отдельных этапах транспортного процесса: пешего подхода/отхода от остановки, нахождения в транспорте (в пределах интервала, не превышающего показатель транспортной усталости), приводит к тому, что время ожидания и время пересадки оценивается в два раза более негативно, чем время, проведённое в салоне транспортного средства [13].

Одним из основных показателей качества транспортных услуг является их *доступность*. Необходимость её оценки с точки зрения воспринимаемого качества связана с выбором пользователем при планировании поездки наилучшего маршрута достижения своей цели и соответствующей этому маршруту транспортной цепочки. Потенциальный пассажир оценивает доступность местоположений, видов транспорта и отдельных маршрутов, исходя из своих физических и финансовых возможностей, наличия времени, временных и погодных условий и т. д.

В работе [14] для оценки доступности местоположений для пользователя предлагается использовать гравитационную модель, согласно которой той или иной транспортной цепочке соответствует определённый вес:

$$A_i = \sum_j P_i \cdot f(C_{ij}), \quad (1)$$

где A_i – доступность i -й зоны;

P_i – возможности достижения цели из i -й зоны;

i – индекс зоны отправления;

j – индекс зоны назначения;

$f(C_{ij})$ – функция, определяющая стоимость поездки.

В данном случае предполагается, что именно стоимость является фактором, определяющим уровень доступности.

Однако, исходя из комплексного понятия доступности, на нее оказывают влияние и другие факторы. Для их учета вводится понятие сопротивления поездке (импеданс), то есть легкости/сложности совершения поездки из i в j .

В классическом виде функция сопротивления поездке (импеданс) $f(d_{ij})$ предполагает зависимость только от расстояния между двумя точками, однако она может быть использована и для учета более широкого набора факторов, влияющих на доступность.

С точки зрения этого подхода, местоположения имеют тем больший вес, чем ближе они находятся к точке достижения цели (т. е. – будут более вероятно выбраны пользователем):

$$P_j^{ip} = \frac{x_j^p f(d_{ij})}{\sum_{j \in L^{ip}} x_j^p f(d_{ij})}, \quad (2),$$

где L^{ip} – набор местоположений типа p в наборе выбора для зоны i ;

x_j^p – размер активности типа p (количество / мощность точек производственной активности, а также других точек притяжения пассажиропотока) в местоположении j .

Понятие «близость» в данном случае, может быть распространено на стоимостные и временные показатели, на уровень предоставляемого комфорта и т. д.

В соответствии с моделью, описанной формулой (2), вероятность выбора местопо-



ложения j будет непрерывно уменьшаться с увеличением расстояния / времени, необходимого для достижения цели. При этом следует также учитывать, что эта вероятность является неодинаковой для различных категорий пассажиров и целей поездки.

Изложенное выше позволяет использовать гравитационную модель для оценки показателей качества транспортной цепочки (от двери до двери) с использованием воспринимаемого качества. В таком случае функция качества транспортной услуги $f(q_{ij})$, зависящая от воспринимаемого качества звеньев транспортных цепочек, вводится в состав функции импеданса.

В данном случае предполагается, что пользователь выбирает транспортную цепочку с максимальным интегральным показателем качества $Q_{\text{выб.}}$:

$$Q_{\text{выб.}} = \max Q_i \quad (i \in 1..n), \quad (3)$$

где n – число возможных транспортных цепочек от начальной до конечной точки своей поездки с качеством Q_i , рассматриваемых индивидом (потенциальным пассажиром).

В свою очередь, каждая цепочка состоит из суммы звеньев, каждое из которых характеризуется собственным качеством.

$$Q_i = \sum_{j=1}^m q_j, \quad (4)$$

где q_j – качество отдельного j -го звена транспортной цепочки, а m – число ее звеньев.

В простейшем случае

$$Q_i = \sum_{j=1}^m q_j = \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K} q_{jk} \cdot p_k, \quad (5)$$

где q_{jk} – показатель качества транспортной услуги j звена по k критерию; p_k – весовой коэффициент k -го критерия качества транспортной услуги, принадлежащего множеству K .

При этом, физическое расстояние в рамках соответствующей цепочки может быть короче, но это расстояние может проигрывать по качеству (иметь большой импеданс, то есть сопротивление) и соответственно быть отвергнуто при принятии потенциальным пассажиром своего решения.

В действительности, оценка качества совершаемой поездки может варьироваться в зависимости от времени ее осуществления, категории пользователя и т. д. Поэтому в менее упрощенных случаях можно использовать функции, характеризующие зависимости качества транспортных услуг от категории пользователей, целей поездки, времени суток

и т. д., а также группировать оценки и формировать суммарные характеристики.

Ввиду комплексного характера транспортной услуги нужно также учитывать взаимное влияние нескольких показателей качества друг на друга. К примеру, значения одних показателей могут находиться в противофазе со значениями других (рост скорости как следствие сокращения времени в пути может вести к снижению безопасности и т. п.). В то же время их взаимное наложение приводит к тому, что негативное восприятие одного из показателей (стоимость, пересадочность) может быть компенсирована улучшением других показателей (время, комфорт). Такие связи могут образовывать сетевые модели, где вершинами являются соответствующие показатели качества (рис. 3).

Для конкретного показателя (например, пересадочности) соответствующий граф, описывающий его взаимосвязи с другими показателями качества, показан на рис. 4. При этом веса ребер, характеризующие значимость связи будут иметь разные весовые коэффициенты для различных категорий пользователей и категорий поездки. Соответственно, целесообразен учет этого фактора на этапе планирования транспортных услуг.

Динамическая физическая модель воспринимаемого качества может быть описана изменением индекса удовлетворенности в многомерном пространстве, каждая из осей которого относится к определённому показателю качества:

$$S = \sum_{i=1}^k \frac{a_i \times x_i}{x_i}, \quad (6)$$

где S – индекс удовлетворённости;

a_i – оценка удовлетворённости по атрибуту i ;

x_i – относительная важность атрибута i ,
 $i = 1, \dots, k$.

Помимо традиционных методов, решение задачи оценки воспринимаемого качества можно осуществить с использованием аппарата интервальной математики для каждой из групп пользователей транспортных услуг с последующим получением интегральной оценки.

Заметим, что индекс удовлетворенности может быть использован как величина, обратно пропорциональная импедансу (сопротивлению) поездке, в функцию которого внесены показатели качества.

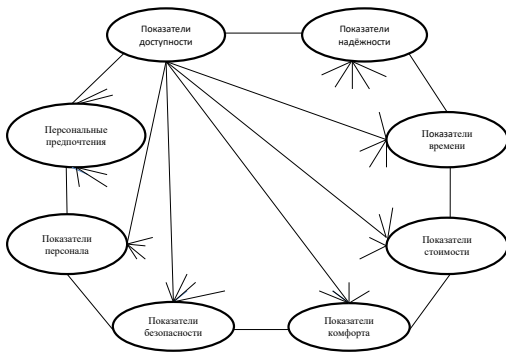


Рис. 3. Общий случай взаимного наложения показателей воспринимаемого качества транспортных услуг [составлено автором].

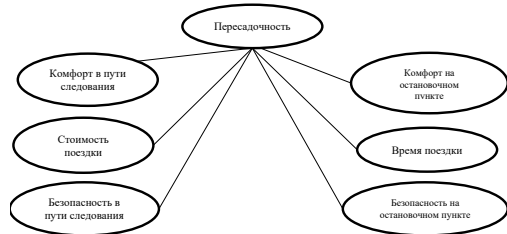


Рис. 4. Пример взаимного влияния показателей воспринимаемого качества транспортных услуг [составлено автором].

Каждый из этих показателей для определённой группы пользователей находится в пределах «зоны толерантности», при этом выход за максимальное значение зоны приводит к формированию «избыточного качества», то есть такого качества, повышение которого не приводит ни к повышению удовлетворённости общим качеством транспортной услуги, ни к росту объёма ее потребления (числа поездок) [15–17].

Выход за нижнюю границу такой зоны приводит к критической (негативной) оценке транспортной услуги и формирует стремление к отказу от нее, то есть негативное транспортное поведение. Соответственно, за счет ухудшения соотношения «затраты-выгоды» для пользователя снижается доступность цели поездки, что является стимулом для поиска альтернативных путей достижения цели. Описание взаимосвязи транспортного поведения с доступностью и полезностью для пользователя изложено в работе [18].

Таким образом, в условиях ограниченности ресурсов, задача стоит на максимальной концентрации на тех мерах, которые воздействуют на интегральный показатель качества, приближая его значение к точке, максимально удаленной от нижних границ этих зон. Соответственно, обеспечивается лояльность пассажира как пользователя услуг городского пассажирского транспорта как в моменте, так и на перспективу.

На уровне индивида (потенциального пассажира) процесс можно описать следующим образом. На дотранспортной стадии пользователь определяет имеющиеся ограничения и допустимые компромиссы и формулирует для себя критерии, характеризующие

ожидаемое качество поездки, которое представляет собой вектор диапазонов значений показателей качества. Диапазон значений каждого из этих критериев, приемлемых для пользователя, представляет собой зону толерантности T_i .

Как это описано в работе [19], в процессе принятия решения альтернативы, удовлетворяющие требованиям (ограничениям), являются допустимыми, а альтернатива, достигающая экстремума приоритетного критерия или комплекса критериев, становится оптимальной стратегией и реализуется в виде поездки.

ВЫВОДЫ

Встраивание показателей качества транспортных услуг в процессы планирования развития городских транспортных систем и мониторинга выполнения транспортной работы целесообразно осуществлять на основе методики, учитывающей ожидания и восприятие пассажира. Концентрация на тех мерах, которые представляются для пассажира приоритетными, противодействует стремлению пассажира в поисках более качественной транспортной услуги сделать выбор в пользу личного транспорта, снижает нагрузку на улично-дорожную сеть и способствует сокращению вредного воздействия от транспорта на окружающую среду.

Для оценки воспринимаемого качества транспортной услуги может использоваться гравитационная модель, согласно которой пользователь стремится выбрать такую транспортную цепочку, которая имела бы наименьшее сопротивление поездке, то есть наиболее высокие показатели качества. Использование





интегрального показателя качества транспортной услуги с учетом функции сопротивления поездке позволяет городским и транспортным администрациям оценивать уровень удовлетворенности пользователя и концентрироваться на тех мероприятиях по совершенствованию городской транспортной системы (маршрутная сеть, вид транспорта, тип подвижного состава, тарифная политика и т. п.), которые дают наибольшую отдачу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mobilizing sustainable transport for development. Analysis and Policy Recommendations from the United Nations Secretary-General's High-Level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016. [Электронный ресурс]: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2375Mobilizing%20Sustainable%20Transport.pdf>. Доступ 11.09.2023.
2. Асалиев А. М., Завьялова Н. Б. и др. Маркетинговый подход к управлению качеством транспортного обслуживания: Монография / под ред. к.т.н. Н. Б. Завьяловой, д.э.н. О. В. Сагиновой, д.т.н. И. В. Спирина. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 172 с. ISBN 978-5-00068-521-1.
3. Баранова Г. Н., Заборовская О. В. Восприятие качества услуг пассажирского транспорта потребителями: литературный обзор зарубежных исследований // Российский экономический интернет-журнал. – 2019. – № 3. – С. 10. EDN: IGFXHZ.
4. Сейфуллаева М. Э., Скоробогатых И. И., Сидорчук Р. Р., Гринева О. О. Оценка воспринимаемого качества транспортной услуги: теоретический и практический подходы // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2018. – № 2 (98). – С. 122–134. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-122-134>.
5. Карелин Н. В. Формирование комплекса маркетинга городских пассажирских перевозок на основе инновационного подхода / Дисс... канд. экон. наук. – Оренбург, ОГУ, 2020. – 198 с. [Электронный ресурс]: <https://rsue.ru/avtoref/KarelinNV/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?ysclid=lpie8kkcrr883340503>. Доступ 21.07.2023.
6. Епифанов В. В., Тюрин А. С., Луконькина К. А. Управление качеством пассажирскими автомобильными перевозками на основе оценки удовлетворенности потребителей // Качество и жизнь. – 2018. – № 2 (18). – С. 88–92. EDN: XUBFID.
7. Донченко В. В., Баранов А. С., Немчинов Д. М., Поляков А. С. Городское планирование и транспортное поведение в Российской Федерации. – М.: КнигИздат, 2022. – 240 с. ISBN 978-5-4492-0344-1.
8. Pečený, L., Gašparík, J., Zitřický, V. Methodology for Rating Quality Standards in Regional Passenger Rail Transport. International Scientific Journal «Trans Motauto World», 2018, Iss. 3, pp. 127–130. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/347733887_The_purpose_of_long-distance_passenger_trains_in_public_passenger_transport_system. Доступ 25.08.2023.
9. Jiancheng Weng, Xiaojian Di, Chang Wang, Jingjing Wang, Lizeng Mao. A Bus Service Evaluation Method from Passenger's Perspective Based on Satisfaction Surveys: A Case Study of Beijing, China. Sustainability. 2018, 10 (8), 2723. DOI: 10.3390/su10082723.
10. The Value of Travel Time Savings: Departmental Guidance for Conducting Economic Evaluations Revision 2 (2016 Update). [Электронный ресурс]: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/2016_20Revised%20Value%20of%20Travel%20Time%20Guidance.pdf. Доступ 04.04.2023.
11. Goodwin, Ph. The Influence of Technologies and Lifestyle on the Value of Time ITF Discussion Paper. University of the West of England, Bristol. [Электронный ресурс]: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/influence-technologies-lifestyle-zero-value-time_0.pdf. Доступ 25.08.2023.
12. Wardman, M., R. Public transport values of time. Transport Policy. 2004, Vol. 11, pp. 363–377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2004.05.001>.
13. Худяков В. Исследование оценки качества обслуживания пассажиров городского транспорта в Риге до 2018 года // Research and Technology – Step into the Future. 2007, Vol. 2, Iss. 2, pp. 5–14. [Электронный ресурс]: https://tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Research_journal/Res_Tech/2007/V2/1.pdf. Доступ 25.08.2023.
14. Hansen, S. L. How accessibility shape land use. Journal of the American Institute of Planners, 1959, Vol. 25, Iss. 2, pp. 73–76.
15. Juan de Oña, Rocío de Oña, Quality of Service in Public Transport Based on Customer Satisfaction Surveys: A Review and Assessment of Methodological Approaches. Transportation Science, 2014, 49 (3). DOI: 10.1287/trsc.2014.0544.
16. Fonseca, F., Pinto, S., Brito, C. Service Quality and Customer Satisfaction in Public Transports. International Journal for Quality Research, 2010, Vol. 4 (4), pp. 125–130. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/328367787_Service_Quality_and_Customer_Satisfaction_in_Public_Transports. Доступ 25.08.2023.
17. Агуреев И. Е., Ахромешин А. В. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 2. – С. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.
18. Guers, Karst. Accessibility and Transport Appraisal: Approaches and Limitations. International Transport Forum Discussion Papers – OECD Publishing – No. 2020/22. DOI: <https://doi.org/10.1787/58a96ff1-en>.
19. Жук А. Е. Ценностно-ориентированное развитие логистических систем городского общественного пассажирского транспорта // Дисс... канд. экон. наук. – СПб.: СПбГЭУ, 2021. – 245 с.

Информация об авторе:

Андреев Сергей Александрович – советник Генерального секретаря Международного координационного совета по трансевразийским перевозкам; аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта», Москва, Россия, andreevsa@niat.ru.

Статья поступила в редакцию 07.10.2023, одобрена после рецензирования 04.11.2023, принята к публикации 08.11.2023.



Продолжительность движения автомобилей в потоке как индикатор транспортного затора



Михаил БОЯРШИНОВ



Александр ВАВИЛИН

**Михаил Геннадьевич Бояршинов¹,
Александр Сергеевич Вавилин²**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия.

✉ ¹ mgboyarshinov@pstu.ru.

¹ ORCID 0000-0003-4473-6776; Web of Science
Researcher ID: ACE-0166-2022; SPIN-code: 5958-2345;
Author ID: 79853.

² ORCID: 0000-0003-4473-6792; Author ID: 566592.

АННОТАЦИЯ

Актуальность изучения транспортных заторов обусловлена необходимостью поиска научно-обоснованного критерия их формирования, развития и ликвидации с использованием современных способов обработки информации о потоках автомобилей. Целью настоящего исследования является выявление количественного критерия формирования и эволюции транспортного затора на основе детерминированной оценки времени движения отдельных автомобилей в общем потоке между рубежами контроля как случайной величины: среднего значения, моды, медианы, среднеквадратичного отклонения, показателей вариации, асимметрии и эксцесса.

Предмет исследования – закономерности эволюции перечисленных детерминированных показателей транспортных потоков, которые можно использовать для оперативного прогнозирования формирования, развития и ликвидации транспортных заторов. Исходные данные получены

с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на городской улично-дорожной сети. В результате исследования установлено, что для одного и того же участка дороги перечисленные детерминированные показатели случайной величины существенно различаются при свободном движении автомобильного транспорта и в случае образования транспортного затора. Представляется перспективным использование среднего значения продолжительности движения автомобилей для идентификации стадий формирования, развития и исчезновения (ликвидации) транспортного затора. Предлагаемый показатель может служить основой для разработки механизма оценки в режиме реального времени вероятности образования транспортного затора, а также для выработки рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб для их предотвращения и ликвидации.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, транспортный затор, поток транспорта, интенсивность движения, продолжительность движения по дороге.

Для цитирования: Бояршинов М. Г., Вавилин А. С. Продолжительность движения автомобилей в потоке как индикатор транспортного затора // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 93–105. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-11>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Изучение факторов и последствий образования заторных ситуаций, математическое, имитационное или вычислительное моделирование и, на этой основе, прогнозирование образования транспортных заторов, является чрезвычайно актуальной проблемой, не получившей должного решения к настоящему времени ни в отечественных, ни в зарубежных исследованиях. До недавнего времени само понятие заторной ситуации авторами исследований трактовалось достаточно вольно, и это отмечается в публикациях [1–3] и других. Следует отметить, что нормативное отечественное определение понятия «транспортного затора» появилось лишь в ГОСТ Р 55691–2013/ISO/TS 15624:2001. Следствием неоднозначности в определении «заторной ситуации» стало отсутствие к настоящему времени корректной количественной шкалы для классификации, фиксации и измерения этого феномена, определения времени начала, продолжительности и окончания транспортного затора. Как результат, отсутствует возможность автоматизированного определения места и времени образования скопления транспортных средств («пробки») на улично-дорожной сети современного города.

Анализ потоков транспортных средств оперирует показателями равномерности и скорости движения транспорта [4; 5], загруженности улично-дорожной сети [6–8], часовой и суточной интенсивности потока автомобилей [9–13], а также детерминированными характеристиками случайных величин [14–16]: средним значением, модой, медианой, дисперсией, среднеквадратичным отклонением, показателями вариации, асимметрии и эксцесса и другими. Для проведения натурных обследований с целью повышения эффективности использования дорог, а также предупреждения заторовых ситуаций, снижения аварийности и негативного воздействия на окружающую среду применяются непосредственное наблюдение и изучение видеозаписей¹ движения автомобилей в транспортном потоке, используются передвижные дорожные лаборатории [17], беспилотные летательные аппараты [18], средства спутникового мониторинга [19; 20], реги-

страторы акустического излучения транспортных средств [21], встроенные (интрузивные) датчики на дорогах, транспортные средства-зонды, оснащённые акселерометрами, ультразвуковыми излучателями и приёмниками глобальной навигационной спутниковой системы, программно-технические комплексы видеофиксации нарушений правил дорожного движения [22–25]. Помимо этого требуются эффективные технологии сбора, хранения и обработки сведений о ситуации на дорогах [26; 27], высокопроизводительные алгоритмы обработки и анализа данных на основе многомерного масштабирования, методов статистического, регрессионного, кластерного, гармонического, вейвлет- и других видов анализа, что позволяет собирать и изучать в режиме реального времени информацию о развитии во времени основных показателей движения транспортных потоков по улично-дорожной сети для различных временных интервалов, на отдельных участках дорог и их пересечений, формировать матрицы корреспонденций и так далее.

Проблема транспортных заторов является приоритетной для транспортной системы [10; 28; 29]. Причинами их образования являются общий рост числа автомобилей [17], дорожно-транспортные происшествия [30], уменьшение пропускной способности дороги [31–33], повышение плотности автомобилей на участке дороги [34], увеличение грузового автомобильного парка и объёма перевозок [35; 36], наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов [37], установка светофоров с большим количеством фаз [38], несогласованность их работы [39], строительно-ремонтные работы [40], нерациональная организация работы пунктов взимания платы за проезд [41], человеческий фактор [26; 37; 42] и другие факторы.

Транспортные заторы ведут к снижению скорости движения и увеличению времени в пути [43], повышению расхода топлива и стоимости перевозок [12], увеличению загрязняющих выбросов в окружающую среду, аварийности и уровня шума, опасностям для здоровья [26], снижению производительности труда и качества транспортного обслуживания, безопасности участников дорожного движения [44], ухудшению психологического состояния водителей и пассажиров.

Для выявления наличия транспортного затора и определения степени загруженности

¹ ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учёта интенсивности движения транспортного потока. – М.: Стандартинформ, 2019. – 18 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200132267>. Доступ 17.04.2023.

дорожной сети в ряде случаев используется среднее время прохождения участка дороги, определяемого с помощью программного обеспечения автомобильных навигаторов² [29]. Поскольку транспортные потоки как объекты исследования обладают стохастичностью, в [45; 46] рассмотрено влияние случайного характера транспортного потока на степень насыщенности регулируемых пересечений и продолжительность задержки транспортных средств. Стохастическая модель системы технических средств мониторинга и контроля соблюдения правил дорожного движения представлена в [47] для оценки эффективности управления системой обеспечения безопасности дорожного движения. Модель [48] регулируемого перекрёстка с несколькими случайными транспортными потоками использована при расчёте светофорного регулирования для снижения вероятности возникновения заторов на улично-дорожной сети.

На участках дорожной сети с высокой интенсивностью и волатильностью трафика наиболее эффективны адаптивные подходы [35; 49], основанные на анализе транспортной загруженности и позволяющие изменять фазы работы светофора в режиме реального времени, автоматически подстраиваться под транспортный поток, уменьшать транспортные задержки, время в пути и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Необходимость разработки методики управления транспортными потоками, основанной на мониторинге и прогнозировании очередей транспортных средств в связи с повышенной нагрузкой улично-дорожной сети обоснована в [50]. Внедрение интеллектуальных транспортных систем [51] направлено на снижение и ликвидацию транспортных заторов за счёт регулирования движения транспортных средств. Теория когнитивных транспортных систем [52] предполагает внедрение механизмов постоянного исследования и самообучения как самих транспортных систем, так и транспортной инфраструктуры за счёт автоматизированного сбора данных о дорожно-транспортных происшествиях, выполнения их обработки в режиме реального времени для оперативного реагирования на изменение транспортной ситуации.

² Как работают Яндекс.Пробки. [Электронный ресурс]: <https://yandex.ru/company/technologies/yaprobki>. Доступ 15.11.2022.

В настоящее время в РФ понятие транспортного затора закреплено стандартом³: «Затор (*traffic impediment*): скопление транспортных средств, вынужденных существенно снижать скорость движения вплоть до полного его прекращения в пределах одной или нескольких полос движения из-за каких-либо помех движению». Следует отметить преимущественно качественный характер этого определения и отсутствие в настоящее время количественного показателя, позволяющего оценивать этапы существования транспортного затора.

Следует ожидать, что при формировании, эволюции и ликвидации транспортного затора в результате дорожно-транспортного происшествия, ремонта проезжей части, нарушения скоростного режима или правил дорожного движения, причин случайного (спонтанного) характера или вследствие иных обстоятельств основные показатели транспортного потока принимают специфические (критические) значения, отличающие их от «нормальных» значений, уникальных для каждого конкретного участка дорожно-транспортной сети. Оперативное обнаружение таких специфических значений позволит операторам служб контроля дорожного движения своевременно принимать обоснованные решения и осуществлять рациональные действия по управлению транспортными потоками для исключения негативных последствий образования транспортных заторов.

Для корректного определения специфических значений транспортного потока, указывающих на формирование (эволюцию, ликвидацию) транспортного затора, необходимо:

- собрать данные о «нормальных» показателях транспортного потока на исследуемом участке (плотность, интенсивность и скорость потока транспорта, время проезда и другие показатели, характерные для свободного движения автомобилей);
- определить аномальные (критические) значения основных параметров транспортного потока при формировании, развитии и ли-

³ ГОСТ Р 55691–2013/ISO/TS 15624:2001. Системы управления и информации на транспорте. Системы оповещения о дорожных происшествиях (TIWS). Требования к системе. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 24 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200107272>. Доступ 28.02.2023.





Рис. 1. Участок дороги, выбранный для исследования; маркеры указывают рубежи наблюдения, стрелка – направление движения [разработано авторами с использованием ресурсов 2GIS ООО «ДубльГИС» [Электронный ресурс]: <https://2gis.ru/perм>. Доступ 28.02.2023].

квидации транспортного затора, когда наблюдается затруднённое движение транспорта;

- выполнить сопоставление и анализ показателей транспортного потока при свободном движении автомобильного транспорта и в случае транспортного затора;
- сформировать критерии выявления аномальных значений показателей транспортного потока для оценки вероятности образования дорожного затора.

Предлагаемый авторами научно обоснованный количественный показатель, позволяющий классифицировать типы заторных ситуаций, фиксировать факт образования транспортного затора, время начала, продолжительность и его окончание, будет полезен для предупреждения и оперативного выявления условий формирования заторной ситуации при движении автомобилей по улично-дорожным сетям, послужит основой для выработки рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб для их предотвращения или ликвидации.

Учитывая вышеперечисленное, целью настоящего исследования является выявление количественного показателя формирования и эволюции транспортного затора на основе анализа случайных величин продолжительностей движения между контрольными рубежами всех автомобилей в наблюдаемом транспортном потоке на основе определения детерминированных оценок времени их движения, в том числе среднего значения, моды, медианы, среднеквадратичного отклонения, показателей вариации, асимметрии и эксцесса, с использованием *современного математического аппарата статистического анализа*. Целесообразно сопоставить между собой эти детерминированные показатели с точки зрения эффективности выявления транспортного затора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интенсивность потока транспортных средств

Исследование формирования и эволюции транспортного затора выполнялось на участке дороги длиной 2,2 км, свободном от перекрёстков (рис. 1). Для выбранного участка характерно спонтанное образование транспортного затора, имеющее место, как правило, во второй половине дня. Наблюдения проводились в течение 8 мая (в течение суток транспортный затор отсутствовал) и 9 мая 2022 года (транспортный затор зафиксирован в период с 20:00 до 22:00). Исходные данные для исследования получены с помощью аппаратно-программных комплексов фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения.

На рис. 2 представлены суточные зависимости интенсивности транспортного потока на рассматриваемом участке дороги на 8 мая (рис. 2, а – входной рубеж) и 9 мая (рис. 2, б – входной, в – выходной рубежи). Отсутствуют принципиальные различия в поведении интенсивности транспортного потока при отсутствии транспортного затора 8 мая и его наличии 9 мая в интервале от 20:00 (1200 мин) до 22:00 (1320 мин).

Аномалии в поведении интенсивности автомобильного потока, которые могли бы указать на формирование транспортного затора, не выявлены. Принципиальные отличия, которые могли бы указывать на наличие или отсутствие транспортного затора, на распределении плотностей вероятностей значений интенсивности потока в указанные дни на контрольных рубежах рассматриваемого участка дороги (рис. 3), также отсутствуют.

Детерминированные показатели случайных функций интенсивности транспортного

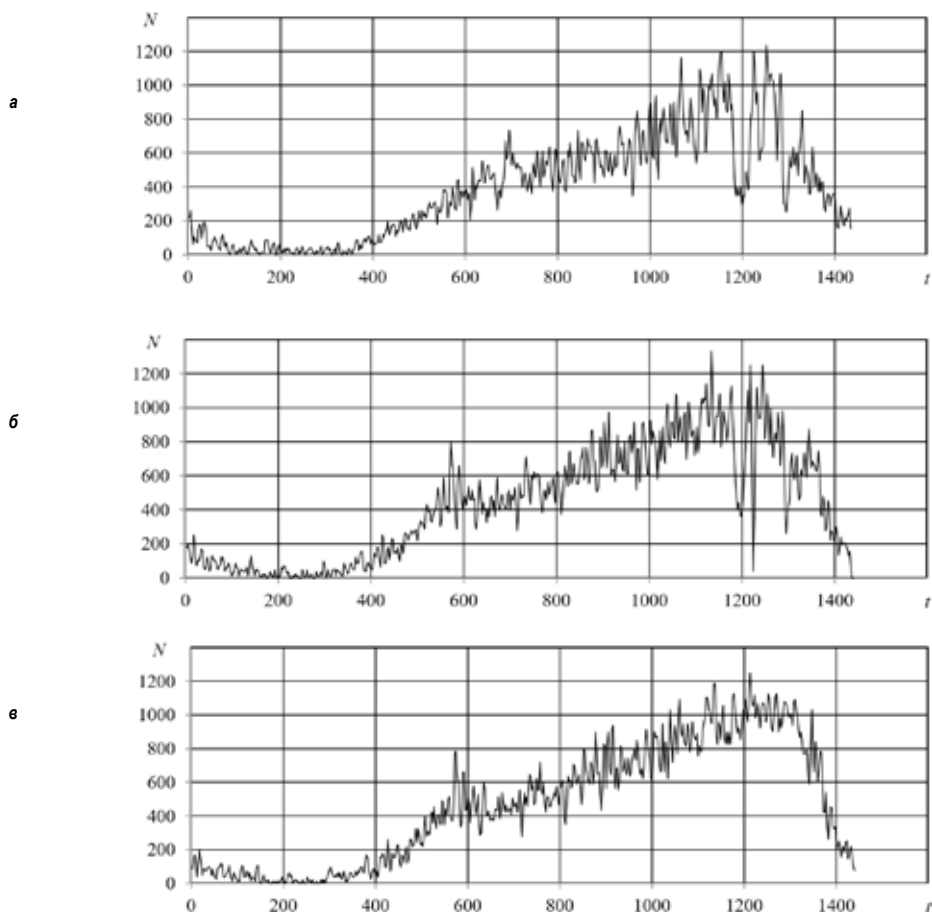


Рис. 2. Зависимости интенсивности транспортного потока N (авт./час) от времени t (мин) 8 мая (а – входной рубеж) и 9 мая 2022 года (б – входной, в – выходной рубежи) [разработано авторами].

потока 8 и 9 мая (табл. 1), также не позволяют обнаружить признаки транспортного затора. Таким образом, анализ функции интенсивности транспортного потока на рассматриваемом участке дороги не позволил различить дорожные ситуации с наличием и отсутствием транспортного затора.

Продолжительность движения автомобилей в потоке транспортных средств

Целесообразно рассмотреть другой показатель движения потока автомобилей, имеющий отношение к нормативному определению транспортного затора.

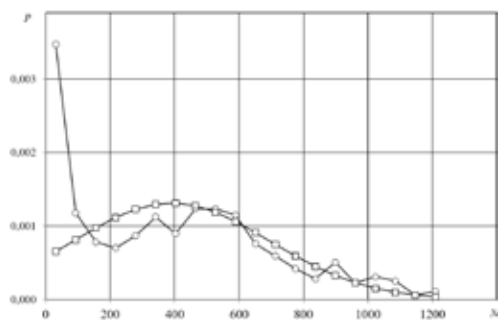
Таблица 1

Статистические показатели интенсивности транспортного потока 8 и 9 мая 2022 года [разработано авторами]

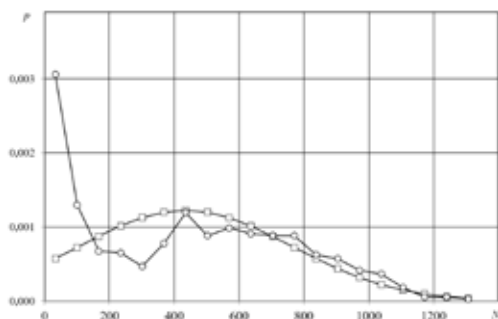
Показатели интенсивности транспортного потока	Дата		
	08 мая	09 мая	
	Входной рубеж	Входной рубеж	Выходной рубеж
Общее количество автомобилей за сутки, ед.	9518	10591	11312
Среднее значение, авт./час	396,58	441,29	471,33
Медиана, авт./час	372,00	438,00	456,0
Среднеквадратичное отклонение, авт./час	304,10	325,98	353,22
Коэффициент вариации, %	76,68	73,87	74,94
Асимметрия	0,53	0,30	0,22
Экцесс	-0,56	-1,03	-1,27



а



б



в

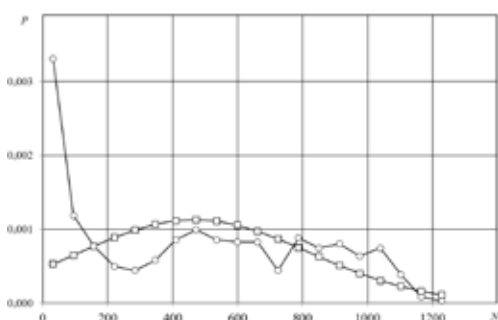


Рис. 3. Распределения плотностей p вероятности интенсивности N транспортного потока 8 мая (а – входной рубеж) и 9 мая 2022 года (б – входной, в – выходной рубежи); экспериментальные (—○—) и теоретические (---□---) кривые распределений [разработано авторами].

Из определения следует, что количественной основой для построения критерия транспортного затора может выступать скорость движения автомобилей в транспортном потоке, изменяющаяся от максимально разрешённого значения вплоть до нуля, то есть до полной остановки. Определить истинную, или мгновенную скорость автомобиля в каждый момент времени без применения специальных технических средств в современных условиях невозможно.

Поскольку аппаратно-программные комплексы фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения позволяют фиксировать государственный регистрационный знак (то есть идентифицировать конкретный автомобиль), моменты начала и окончания его перемещения по исследуемому участку, это позволяет определять среднюю скорость

движения каждого автомобиля, движущегося между контрольными рубежами.

Средняя скорость v_i^{cp} и время T_i проезда i -го автомобиля между контрольными рубежами по информативности эквивалентны и связаны соотношением $v_i^{cp} = S / T_i$, где S – расстояние между рубежами контроля. Однако, с точки зрения оперативности работы вычислительной части комплекса целесообразно ограничиться определением времени T_i и не загружать процессор вычислением v_i^{cp} .

На рис. 4 показана зависимость продолжительности T_i движения между рубежами контроля отдельных автомобилей от момента времени t их появления в начале участка в период с 0:00 до 24:00 (данные получены с комплекса фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения за 9 мая 2022 года). Резкое возрастание продолжитель-

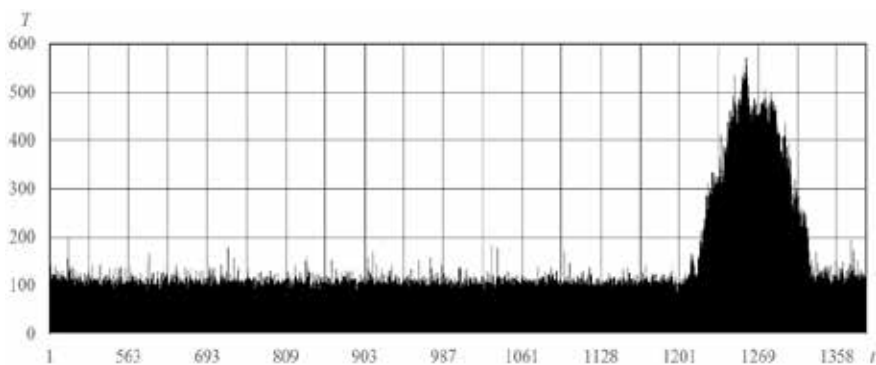


Рис. 4. Зависимость продолжительности T_i (с) движения отдельных автомобилей от момента времени t (мин) появления автомобилей в начале участка в течение суток 9 мая 2022 года [разработано авторами].

ности движения автомобилей в период с 20:00 до 22:00 отражает образование транспортного затора на дороге.

Продолжительности T_i движения отдельных автомобилей можно рассматривать как функцию времени t , представляющую собой временной ряд, что позволило выполнить гармонический анализ (Фурье-анализ) [53], вейвлет-анализ [54], исследование показателя Хёрста [55] данных, представленных на рис. 4. Результаты выполненного анализа позволяют идентифицировать аномалии, указывающие на формирование транспортного затора, однако сами подходы оказались громоздкими и неэкономичными с точки зрения вычислительных затрат.

Рациональным и экономичным оказался способ, основанный на статистическом анализе временного ряда (рис. 4) с использованием «скользящего окна».

На рис. 5 показаны средние продолжительности T_{cp} движения автомобилей по исследуемому участку дороги в течение суток в зависимости от времени их появления t на начальном рубеже по данным, полученным за 8 (транспортный затор отсутствует) и 9 мая (зафиксирован транспортный затор) 2022 года. Осреднение проводилось по десятиминутным временным интервалам с последовательным сдвигом этих интервалов на одну минуту («скользящий» интервал осреднения). Формирование транспортного затора обнаруживается по быстрому росту средней продолжительности T_{cp} движения автомобилей между рубежами контроля. Ликвидация транспортного затора также может быть зафиксирована по возвращению продолжительности движения автомобилей к установившемуся среднему значению, характерному для этого участка дороги.

Сопоставление рисунков 2 и 5 позволяет объяснить высокие значения T_{cp} в начале суток от 0 до 3:20 часов утра, которые, по-видимому, связаны с низкой скоростью движения отдельных автомобилей в тёмное время суток и обусловлены психологическими особенностями водителей этих автомобилей, поскольку интенсивность движения автомобилей в это время незначительна.

Приведённые в табл. 2 данные позволили сравнить основные показатели распределения случайной величины продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля при отсутствии (00:00–20:00) и наличии (20:00–22:00) транспортного затора на выбранном для наблюдения участке дороги:

- среднее значение продолжительности T_{cp} движения автомобилей при наличии затора увеличилось в 3,32 раза по сравнению с движением автомобилей при его отсутствии;
- мода возросла в 4,61 раза;
- медиана изменилась в 3,50 раза;
- дисперсия увеличилась в 97,13 раза;
- среднеквадратичное отклонение возросло в 9,86 раза;
- коэффициент вариации изменился в 2,97 раза;
- показатель асимметрии эволюционировал с 0,29 до –0,30;
- показатель эксцесса изменился с 0,23 до –1,11.

Таким образом, все показатели распределения случайной продолжительности движения автомобилей при наличии дорожного затора существенно изменились по сравнению с теми же показателями при отсутствии транспортного затора. Можно предположить, что некоторые из указанных показателей могут оказаться эффективными индикаторами, наблюдение за которыми позволит про-



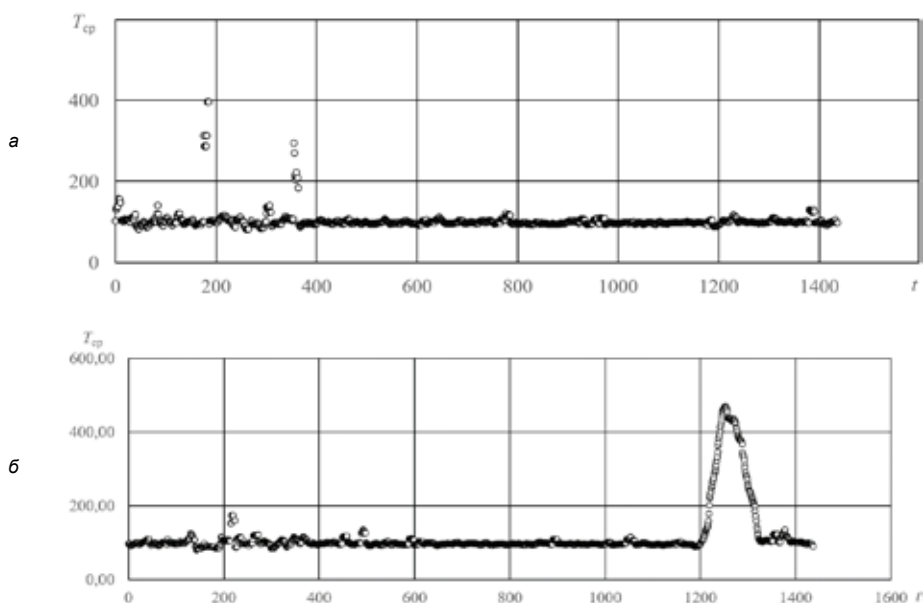


Рис. 5. Осредненные продолжительности T_{cp} (с) движения автомобилей в зависимости от момента времени t (мин) появления автомобилей в начале участка 8 мая (а) и 9 мая 2022 года (б) [разработано авторами].

Таблица 2

Статистические характеристики распределения продолжительности движения автомобилей по участку дороги для различных периодов наблюдения 9 мая 2022 года [разработано авторами]

Статистические показатели	Периоды наблюдения, часы		
	00:00–24:00	00:00–20:00	20:00–22:00
Среднее значение T_{cp} , с	130,81	95,62	317,48
Мода, с	96,00	94,50	435,50
Медиана, с	98,53	95,21	332,78
Среднеквадратичное отклонение s , с	95,07	12,73	125,47
Коэффициент вариации, %	72,68	13,31	39,52
Асимметрия	2,60	0,29	-0,30
Экссесс	5,62	0,23	-1,11

гнозировать формирование, развитие и ликвидацию транспортных заторов на городских улично-дорожных сетях, междугородных трассах и транспортных магистралях.

На рис. 6 показаны средние продолжительности T_{cp} движения автомобилей по исследуемому участку дороги в течение суток в зависимости от времени их появления t на начальном рубеже. Осреднение проводилось по десятиминутным временным интервалам с последовательным сдвигом этих интервалов на одну минуту («скользящий» интервал осреднения). Образование заторов зафиксировано 9 мая 2021 года (рис. 6, а), 3 мая (рис. 6, б), 16 мая (рис. 6, в) и 27 мая 2022 года (рис. 6, г).

Согласно представленным данным, начало образования транспортных заторов (с 15

до 20 часов по местному времени) и их продолжительность (от 1 часа 15 минут до 3 часов 20 минут) различны. Как и ранее (рис. 5, б), формирование транспортного затора обнаруживается по быстрому росту средней продолжительности T_{cp} движения автомобилей между рубежами контроля. Ликвидация транспортного затора также может быть зафиксирована по возвращению продолжительности движения автомобилей к установившемуся среднему значению, характерному для этого участка дороги.

На рис. 7 и 8 представлены статистические характеристики распределения случайной величины продолжительности T_i движения автомобилей между рубежами контроля: среднее квадратичное отклонение, мода, коэффициент вариации, показатель асимметрии

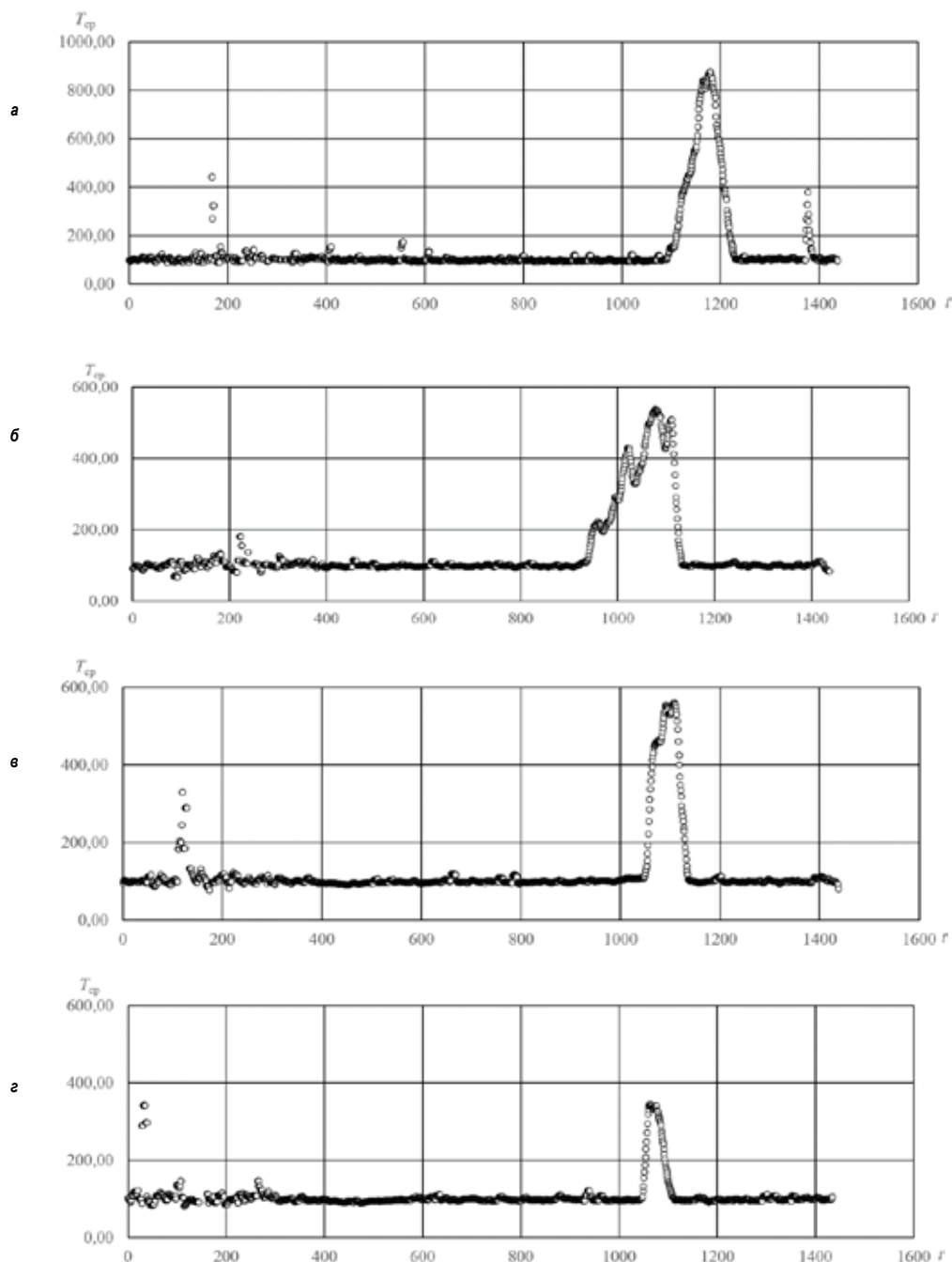


Рис. 6. Осредненные продолжительности $T_{ср}$ (с) движения автомобилей в зависимости от момента времени t (мин) появления автомобилей в начале участка 9 мая 2021 года (а), 3 мая (б), 16 мая (в) и 27 мая (г) 2022 года [разработано авторами].

и эксцесс по данным, полученным за 9 мая 2022 года.

Указанные функции определялись, как и ранее, с использованием осреднения по десятиминутным временным интервалам с последовательным сдвигом этих интервалов на одну минуту («скользящий» интервал).

Представленные результаты показывают, что фиксировать начало образования и окон-

чание транспортного затора целесообразно именно по среднему значению $T_{ср}$ продолжительности движения автомобилей, поскольку зависимости среднеквадратичного отклонения, моды, коэффициента вариации, показателя асимметрии и эксцесса от времени t наблюдения отличаются значительным разбросом значений и не позволяют однозначно идентифицировать транспортный затор.



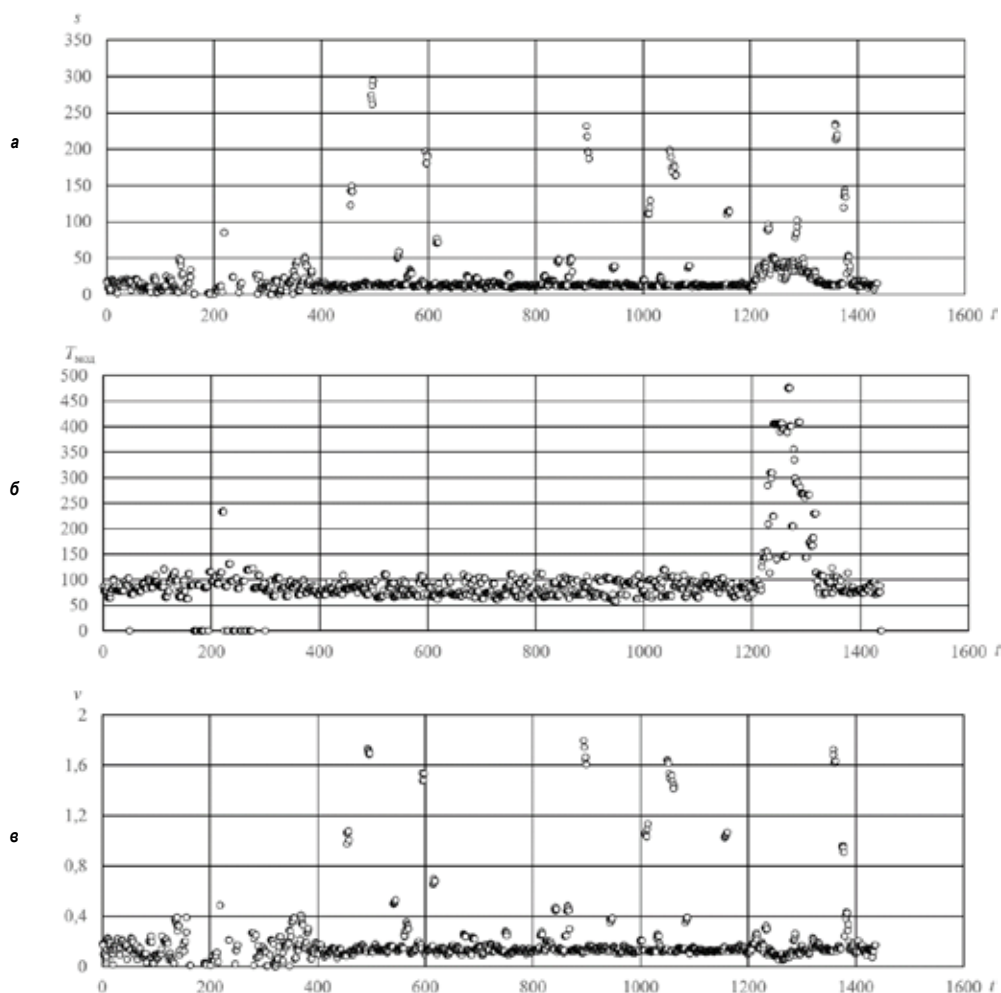


Рис. 7. Статистические характеристики распределения случайной величины T_i продолжительности движения автомобилей между рубежами контроля: среднеквадратичное отклонение (а), мода (б), коэффициент вариации (в); данные за 9 мая 2022 года [разработано авторами].

Сопоставление рис. 4 и 5, б также показывает, что определение начала образования транспортного затора следует производить с использованием среднего значения T_{cp} продолжительности движения автомобилей, так как наблюдаемая продолжительность движения T_i каждого конкретного автомобиля зависит от его эксплуатационных характеристик, опыта, навыков вождения и индивидуальных особенностей водителей, и зависимость T_i от времени характеризуется высокой осцилляцией (рис. 4).

ВЫВОДЫ

Обработка данных, полученных с помощью аппаратно-программных комплексов фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения, позволяет получать

в режиме реального времени важную и достоверную информацию о состоянии транспортного потока. В результате исследования установлено, что зависимости от времени продолжительности движения автомобилей в потоке между двумя рубежами контроля при свободном движении автомобильного транспорта и в случае образования транспортного затора существенно различаются. Предложенный авторами подход к идентификации транспортного затора целесообразно использовать для предупреждения и оперативного выявления условий формирования заторных ситуаций при движении автомобилей по улично-дорожным сетям.

Выполненное исследование может служить научным и методическим фундаментом для создания прогнозной математической, вычислительной либо имитационной модели фор-

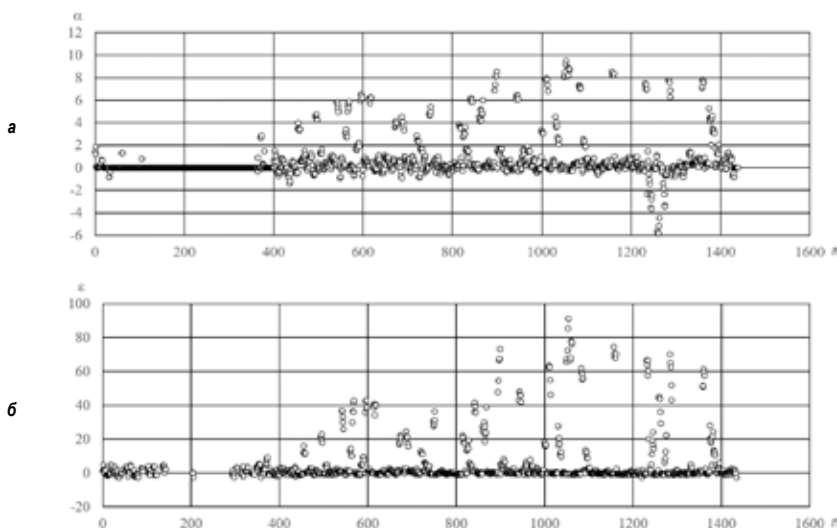


Рис. 8. Статистические характеристики распределения случайной величины T , продолжительности движения автомобилей между рубежами контроля: показатель асимметрии (а) и эксцесс (б); данные за 9 мая 2022 года [разработано авторами].

мирования, эволюции и завершения транспортного затора с учётом основных факторов (рост числа автомобилей, дорожно-транспортные происшествия, снижение пропускной способности дороги, повышение плотности автомобилей на дороге, наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов, установка светофоров с большим количеством фаз, строительные ремонтные работы, психологические особенности водителей и прочие факторы), которая послужит основой для дальнейшей разработки инструментария по выработке рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб на заторные ситуации, разработки научно обоснованных средств прогнозирования и перспективного планирования, обоснования и принятия управленческих решений по превентивным мерам ликвидации условий формирования транспортных заторов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kerner B. S. The Physics of Traffic. Berlin, Springer-Verlag, 2004, 682 p. DOI: 10.1007/978-3-540-40986-1.
2. Goodwin P. Policy incentives to change behavior in passenger transport // International Transport Forum on «Transport and Energy: The Challenge of Climate Change», May 28–30 2008 Leipzig, Germany. Bristol, University of the West of England, 2008, 34 p. [Электронный ресурс]: <https://uwe-repository.worktribe.com/output/1012840>. Доступ 28.02.2023.
3. Управление заторами в городах / Т. Уорсли, Л. Мартин, Б. Мур и др.; перевод с англ. Ботвиньевой Я.Е. и Донченко В.В. – СПб: Центр транспортных исследований, 2020. – 336 с. ISBN 978-5-91258-454-1.
4. Дуров Р. С., Варнакова Е. В., Кобзев К. О., Кобзева Н. Д. Анализ конфликтных точек, конфликтных ситуаций и расчёт интенсивности движения на заданном участке дорожной сети // Безопасность техногенных

и природных систем. – 2020. – № 1. – С. 8–15. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-1-8-15.

5. Макаричев А. В., Горбачёв П. Ф., Ву Д. М., Горбачёва Е. А. // Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожного університету. – 2019. – № 85. – С. 107–116. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.107.

6. Нестеренко Д. Х. Исследование влияния структуры автотранспортного потока на эффективность использования участка улично-дорожной сети // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 1. – С. 90–96. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-90.

7. Павлов С. Н., Гребенштейн А. П. Совершенствование методики оценки целесообразности введения выделенной полосы в крупных городах // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4 (55). – С. 19–25. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44533407>. Доступ 28.02.2023.

8. Фоменко Н. А., Нагуманова А. В., Алексиков С. В. Анализ транспортных потоков основных магистралей г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2018. – № 54 (73). – С. 121–131. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36813882>. Доступ 28.02.2023.

9. Андронов Р. В., Гензе Д. А., Легостаева Е. Н., Белоусова Е. В. // Определение интенсивности транспортных потоков при помощи системы баллов карт пробок // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 5–12. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.01

10. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 423 с.

11. Малахов Р. С., Алексиков С. В. Определение интенсивности движения городского транспорта методом краткосрочных наблюдений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – Вып. 49 (68). – С. 92–98. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30008873_32252480.pdf. Доступ 16.05.2023.

12. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с. [Электронный ресурс]:



https://vk.com/doc31736356_477456143?hash=xWEXbgk pGVc9uGG4kEXRizTeneIR9JuPZcTxzh45R6c. Доступ 16.05.2023.

13. Стасенко Л. Н., Омурбеков Ч. О., Сталбекова Э. С. Оценка часовой интенсивности движения // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры. – 2018. – № 1 (59). – С. 5–13. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35207236_65233437.pdf. Доступ 16.05.2023.

14. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 394 с. ISBN 5-02-014125-9.

15. Ивченко Г. И., Медведь Ю. И. Математическая статистика. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 352 с. ISBN 978-5-397-04141-6.

16. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

17. Евтеева А. С., Андреев К. П., Шемякин А. В., Терентьев В. В. Обследование городской транспортной сети с применением измерительного комплекса // Транспортное дело России. – 2018. – № 1. – С. 132–134. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32851332_44693124.pdf. Доступ 16.05.2023.

18. Evtiukov, S. A., Evtiukov, S. S., Kurakina, E. V. Smart Transport in road transport infrastructure. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 832 (2020), p. 012094. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012094.

19. Тестешев А. А., Микеладзе Т. Г. Исследование транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением методом дистанционного спутникового мониторинга // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 51–57. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.06.

20. Fornalchik, Ye., Vikovych, I., Royko, Yu., Hrytsun, O. Improvement of Methods for Assessing the Effectiveness of Dedicated Lanes for Public Transport. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, Vol. 1, No. 3 (109), pp. 29–37. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225397.

21. Францев С. М. Алгоритм вычисления интенсивности транспортного потока на основе фиксации амплитудной величины акустического излучения автомобиля // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – 6 с. [Электронный ресурс]: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_50_Francev.pdf_6c26dfc023.pdf. Доступ 16.05.2023.

22. Потехин А. С., Стрельников А. В. Методика оценки транспортного потока на перекрёстке по данным видеонаблюдения // Информационные технологии. – 2017. – Т. 23. – № 2. – С. 129–134. DOI: 10.17587/it.23.129-134.

23. Шумков А. Г., Бояршинов М. Г., Васькина Е. В. Определение параметров транспортного потока с использованием данных камер видеофиксации нарушений правил дорожного движения // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 28–29 ноября 2019 г. – Омск, 2019. – С. 291–295. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42386884_34467599.pdf. Доступ 19.05.2023.

24. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S. The deterministic component of the traffic flow intensity. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) 27th–29th October 2020, Saint Petersburg, Russian Federation, 2021, Vol. 1111, 012013 (10 p). DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012013.

25. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Шумков А. Г. Использование комплекса фотовидеофиксации наруше-

ний правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 3. – С. 61–71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.

26. Shepelev, V., Aliukov, S., Nikolskaya, K., Das, A., Slobodin, I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network. Transport and Telecommunication, 2020, Vol. 21 (1), pp. 15–31. DOI: 10.2478/tj-2020-0002.

27. Singh, V., Upadhyay, A., Kumar, A. Integrated Sensor-Based Approach for Traffic Congestion Prediction Using Probe Vehicle. In: Sil, A., N. Kontoni, D. P., Pancharathi, R. K. (eds.). Recent Trends in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023, Vol. 274, Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-4055-2_64.

28. Владимиров С. Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т. 3. – № 1 (19). – С. 77–84. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22296853_20177132.pdf. Доступ 16.05.2023.

29. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с. ISBN 5-277-00375-4.

30. Kumar, P., Vinodh Kumar, S., Priya, L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road. IOT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2023, Vol. 312. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51.

31. Корнев А. В., Шабуров С. С. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы // Молодёжный вестник ИргТУ. – 2021. – Т. 11. – № 1. – С. 58–63. [Электронный ресурс]: <http://xn--blagjigilai.xn--plai/journals/2021/01/articles/09>. Доступ 19.05.2023.

32. Щеголева Н. В., Гусев В. А., Ворожейкин М. А. Образование заторов в транспортном потоке // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 5 (19). – С. 25–28. [Электронный ресурс]: <http://trts.esrae.ru/38-205>. Доступ 19.05.2023.

33. Xomidov, A., Tursunboyev, M. Eliminating congestion on internal roads. Universum: технические науки: электрон. науч. журн. – 2022. – Vol. 2 (95). – [Электронный ресурс]: <https://universum.com/ru/tech/archive/item#13079>. Доступ 20.11.2022.

34. Black, W. R. Transportation: A geographical analysis. New York: The Guilford Press, 2003, 408 p. ISBN 1-57230-848-6.

35. Шамлицкий Я. И., Охота А. С., Мироненко С. Н. Сравнение адаптивного и жёсткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде ANYLOGIC // Программные продукты и системы. – 2018. – № 2. – С. 403–408. DOI: 10.15827/0236-235X.031.3.632-635.

36. Sathiyaraj, R., Bharathi, A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system. Transport, 2020, Vol. 35, No 3, pp. 327–335. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.

37. Басков В. Н., Красникова Д. А., Исаева Е. И. Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4 (83). – С. 272–281. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-272-281>.

38. Андронов Р. В., Елькин Б. П., Гензе Д. А. Понятие затора и формирование очередей на регулируемом пересечении в условиях плотного транспортного потока // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 39–41. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23136607_69272286.pdf. Доступ 19.05.2023.

39. Власов А. А., Горелов А. М. Управление световыми объектами в условиях транспортных заторов.

// Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 3 (38). – С. 112–117. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21915875_27397897.pdf. Доступ 19.05.2023.

40. Harsha, M. M., Raviraj, H. Mulangi, Vrunda Kulkarni. Visualization and Assessment of the Effect of Roadworks on Traffic Congestion Using AVL Data of Public Transit. Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 2022, Vol. 6, No. 28, 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00123-z>.

41. Ласкин М. Б., Талавира А. Ю. Оценка плотности транспортного потока на основе имитационного моделирования пункта взимания платы // Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021), 20–22 октября 2021 г., Санкт-Петербург. – СПб, 2021. – С. 272–78. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47333761_43499734.pdf. Доступ 19.05.2023.

42. Басков В. Н., Игнатов А. В. Зависимость риска возникновения транспортного затора от параметров транспортного потока // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – № 35. – С. 1–5. [Электронный ресурс]: <https://e-koncept.ru/2015/95553.htm>. Доступ 19.05.2023.

43. Aftabuzzaman, Md. Measuring Traffic Congestion – A Critical Review. Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum, China, February 2007, 16 p. [Электронный ресурс]: https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007_Aftabuzzaman.pdf. Доступ 10.11.2022.

44. Yasir, R. M., Nower, N., Shoyaib, M. Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning Techniques. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10983>.

45. Кашталинский А. С., Петров В. В. Влияние дорожно-транспортных факторов на неравномерность транспортных потоков в городах // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 1 (108). – С. 116–123. [Электронный ресурс]: http://journals.istu.edu/vestnik_igrtu/journals/2016/01/articles/14. Доступ 19.05.2023.

46. Петров В. В., Кашталинский А. С. Влияние стохастичности на степень насыщения и задержку транс-

портного потока // Транспорт Урала. – 2013. – № 4 (39). – С. 29–31. [Электронный ресурс]: <https://c.twirpx.one/file/1697678/>. Доступ 19.05.2023.

47. Kerimov, M., Evtiukov, S., Marusin, A. Model of multi-level system managing automated traffic enforcement facilities recording traffic violations. Transportation Research Procedia, 2020, Vol. 50, pp. 242–252. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.030.

48. Наумова Н. А. Моделирование и оптимизация параметров светофорного регулирования при пересечении многополосных автомобильных дорог // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 8. – С. 71–76. [Электронный ресурс]: <https://top-technologies.ru/article/view?id=39269>. Доступ 19.05.2023.

49. Плотников А. М. Управление безопасностью дорожного движения на одноуровневых перекрёстках. Теория и практика. – СПб.: ООО «Экспертные решения», 2014. – 404 с. ISBN 978-5-9905189-4-0.

50. Лагерева Р. Ю., Михайлов А. Ю., Лагерева С. В. Методика предупреждения сетевых транспортных заторов // Вестник НЦБЖД. – 2010. – № 5. – С. 82–88. [Электронный ресурс]: https://ncbgd.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_85705.pdf. Доступ 19.05.2023.

51. Zhankaziev, S., Gavrilyuk, M., Morozov, D., Zabudsky, A. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 36, pp. 841–847. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068.

52. Malygin, I., Komashinskiy, V., Korolev, O. Cognitive technologies for providing road safety in intelligent transport systems. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 36, pp. 487–492. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.134.

53. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Шумков А. Г. Фурье-анализ интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 4. – С. 46–59. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-4-46.

54. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Васькина Е. В. Применение вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 72–87. DOI: [doi: 10.25198/2077-7175-2022-4-72](https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72).

55. Бояршинов М. Г., Вавилин А. С., Васькина Е. В. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 2. – С. 68–81. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68. ●

Информация об авторах:

Бояршинов Михаил Геннадьевич – доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета, почётный работник ВПО РФ, Пермь, Россия, mgboyarshinov@pstu.ru.

Вавилин Александр Сергеевич – аспирант кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия, vavilin@tbdd.ru.

Статья поступила в редакцию 22.02.2023, одобрена после рецензирования 11.12.2023, принята к публикации 12.12.2023.

От редакции. Представляемая статья, как надеется редакция, может послужить отправной точкой для дальнейшего обсуждения затронутой темы с различных точек зрения. По мнению рецензентов, отметивших оригинальность данных натурных наблюдений с использованием средств фото- и видеосъёмки, использование методов статистического анализа характеристик скоростных режимов транспортного потока на перегоне между перекрёстками для оценки вероятности образования затора, признание средней продолжительности движения на участке (или средней скорости) индикатором образования затора является общепризнанным, и, следовательно, анализ других характеристик распределения случайной величины времени проезда/движения может использоваться скорее для других целей, например, для оценки надёжности транспортного сообщения, уровня безопасности движения и др. При этом авторы, признавая важность данных направлений научных исследований, приоритетом своего исследования хотели бы считать создание основы для формирования прогнозной модели транспортного затора для разработки инструментария обоснования и принятия управленческих решений по превентивным мерам ликвидации условий формирования транспортных заторов. В этой связи представляется важным продолжить дискуссию на страницах журнала.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 368.2

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-12>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 106–114

Результаты конъюнктурного исследования деятельности по ремонту автотранспорта по договорам ОСАГО

**Александр Андреевич Цыганов***Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия.*✉ al_ts@rambler.ru.

ORCID 0000-0001-8572-3248, Scopus ID: 56962746400.

Александр ЦЫГАНОВ**АННОТАЦИЯ**

В 2022 году возникли сложности с поставками автомобильных запчастей, что в том числе вызвало затруднения с ремонтом застрахованного автотранспорта. В конце 2022 года Департаментом страхования и экономики социальной сферы Финансового университета в рамках осуществляемых прикладных научно-исследовательских работ (ПНИР) было проведено конъюнктурное исследование станций технического обслуживания, которое помогло выявить основные возникшие проблемы и перспективы развития практики ремонта по направлениям от страховых компаний. Основная гипотеза исследования – в связи с существенным изменением сроков ремонта поменялось и отношение автовладельцев к использованию восстановленных и неоригинальных запчастей, что вызвало необходимость изменения практики работы российских сервисных центров, а также их

стратегии развития на кратко- и среднесрочную перспективу.

Среди выявленных в ходе исследования проблемных вопросов: изменение отношения к использованию бывших в употреблении запчастей, аналогов оригинальных запчастей, увеличение сроков ремонта. В статье даётся потребительская оценка влияния этих факторов на качество ремонта.

Качество бывших в употреблении запасных частей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля, большинство неавторизованных сервисов оценивает как приемлемое. При этом клиенты автосервисов готовы понижать категорию запчастей, чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта. На решение оказывает влияние возраст машины и вероятность получения скидки или сокращения срока ремонта.

Ключевые слова: транспорт, ремонт, страхование, запчасти, станция технического обслуживания.

Для цитирования: Цыганов А. А. Результаты конъюнктурного исследования деятельности по ремонту автотранспорта по договорам ОСАГО // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 106–114. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-12>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В течение 2022 года ситуация с новыми запчастями вызвала беспокойство как у автовладельцев, так и у страховых организаций, которые столкнулись со сложностями при выполнении ремонта застрахованного транспорта, что было связано как с повышением стоимости автозапчастей, так и с усложнением логистики и сроков поставок, а также опасениями по росту угонов и страхового мошенничества. Это вызвало необходимость конъюнктурного исследования для прояснения ситуации и выявления предпринимательских настроений среди собственников и менеджмента станций технического обслуживания. Также гипотезой исследования было изменение потребительских настроений в части использования неоригинальных и восстановленных запчастей при ремонте, в том числе в рамках ОСАГО, с «негативного» на «допускающее использование» таких запчастей в случае отсутствия влияния на безопасность дорожного движения. Опрос проводился в конце 2022 года и отражает сложившуюся на тот момент ситуацию.

МЕТОДОЛОГИЯ

При определении целей и вопросов исследования были изучены публикации по тематике организации автотранспортного обслуживания [1–3] и современным проблемам рынка автострахования и в первую очередь наиболее массового и социального вида – обязательного страхования ответственности владельцев транспортных средств (ОСАГО), в том числе его эффективности [4], учёту региональной российской специфики [5], генезису развития [6].

При разработке анкеты учитывались мнения по развитию рынка автострахования (ОСАГО и каско), анализ проблем и перспектив [7, 8], законодательные ограничения и инициативы по изменению практики реализации ОСАГО [9–11]. Проблемы защиты прав потребителей страховых услуг [12] и общественное восприятие страховой деятельности применительно к автострахованию [13, 14], в том числе вопросы тарификации и обоснованности страхового тарифа [15], противодействия страховому мошенничеству [16] также оказали своё влияние на постановку вопросов исследо-

вания и непосредственно анкеты для конъюнктурного опроса.

В итоге по специально составленной оригинальной анкете¹ в конце 2022 года Департамент страхования и экономики социальной сферы Финансового университета провёл конъюнктурное исследование, посвящённое вопросам организации ремонта автомашин и оценке изменений, связанных с логистическими проблемами на рынке автозапчастей. В исследовании приняли участие 45 компаний, объединяющих 880 станций технического обслуживания. По нашей оценке, такое количество участников опроса составляет от 1,3 до 2,2 % от общего числа компаний, оказывающих услуги автосервиса в России. В исследовании приняли участие компании из разных регионов России, включая области Центральной России, Сибирь, Дальний Восток и республики СКФО.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время в России (по разным оценкам) насчитывается от 40² до 70 тысяч³ автосервисов. Разница в численности возникает из-за учёта различных услуг (автомойка, шиномонтаж, кузовной ремонт), не все из которых связаны с ремонтом автотранспорта после ДТП и, соответственно, не все из таких компаний работают со страховщиками по программам ОСАГО и каско. Важно и то, что по оценке Автостата более 52 % работ по ремонту и обслуживанию автомашин проводятся гражданами самостоятельно или у частных мастеров, предпочитающих не выходить за рамки «гаражной» экономики, при этом общий объём рынка услуг по ремонту и обслуживанию автомобилей в 2021 году оценивается как 681 млрд руб⁴.

¹ В практической части исследования принимали участие преподаватели и научные сотрудники Департамента страхования и экономики социальной сферы Финансового университета Грызункова Ю.В., Кириллова Н.В., Крутова Л.С., Селиванова М.А., Языков А.Д., руководитель – Цыганов А.А.

² В России – 39 тысяч точек автосервиса. [Электронный ресурс]: <https://www.asn-news.ru/news/44846>. Доступ 25.04.2023.

³ В России около 76 тысяч точек автосервиса. [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/news/37240/>. Доступ 25.04.2023.

⁴ В 2021 году на услуги автосервиса россияне потратили более 680 млрд рублей. [Электронный ресурс]: <https://www.autostat.ru/infographics/50348>. Доступ 25.04.2023.



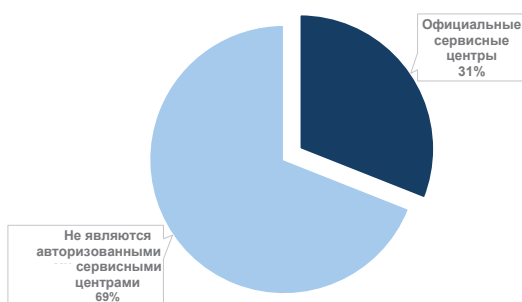


Рис. 1. Распределение участников опроса на официальные и неавторизованные автосервисы, октябрь 2022 года, % от принявших участие в конъюнктурном опросе [здесь и далее приводятся диаграммы на основе исследования, выполненного Департаментом страхования и экономики социальной сферы Финансового университета].

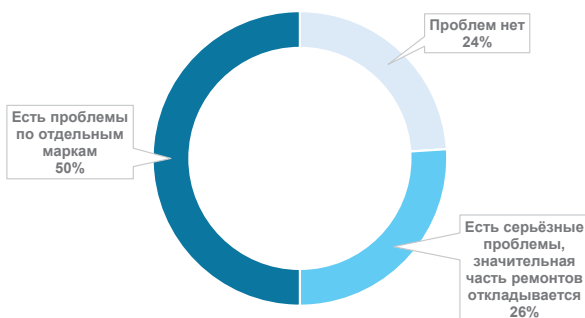


Рис. 2. Распределение ответов на вопрос «Оцените текущий уровень обеспечения запасными частями», октябрь 2022 года, % от принявших участие в конъюнктурном опросе.

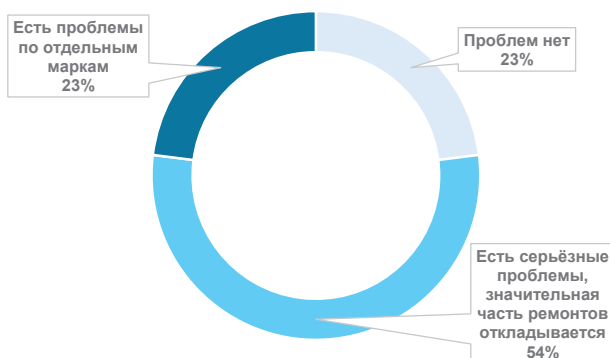


Рис. 3. Распределение ответов на вопрос «Оцените текущий уровень обеспечения запасными частями», октябрь 2022 года, % от компаний – официальных сервисных центров, принявших участие в конъюнктурном опросе.

В 2022 году справочник РСА по средним ценам на запчасти изменялся, в ряде случаев подорожание составило 50 % за год⁵.

Часть автосервисов, принявших участие в конъюнктурном исследовании, объединены в сети или являются подразделениями круп-

ных компаний. 31 % участников опроса являются официальными (авторизованными) сервисами различных автопроизводителей (14 компаний, рис. 1), 11 компаний работают на Дальнем Востоке.

С учётом того, что все принявшие участие в опросе сервисы оказывают услуги по ремонту автомашин по направлениям страховщиков ОСАГО и каско, получившаяся выборка является показательной для рынка услуг

⁵ Запчасти на некоторые марки машин выросли в цене более чем наполовину. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2022/10/25/komu-remont-dorozhe.html>. Доступ 25.04.2023.

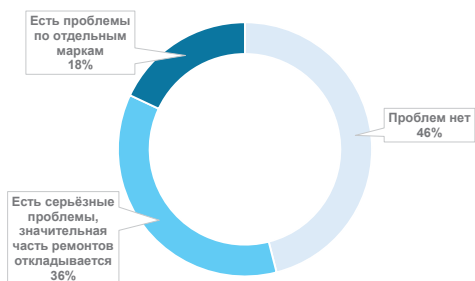


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос «Оцените текущий уровень обеспечения запасными частями», октябрь 2022 года, % от дальневосточных компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

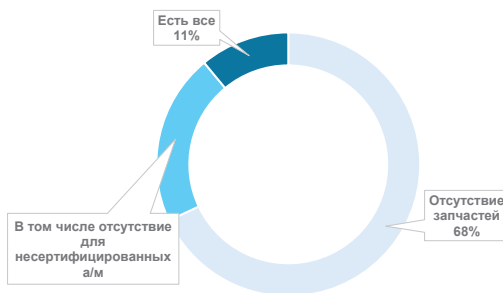


Рис. 5. Распределение ответов на вопрос «Для каких категорий автомобилей Вашего сервисного центра в настоящий момент отсутствуют новые запасные части?», октябрь 2022 года, % от компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

в области кузовного ремонта, который является наиболее востребованным в рамках ОСАГО.

Уровень обеспеченности запасными частями вызывал серьёзные опасения и затруднения в ремонте (рис. 2, более 26 %), в целом проблемы с обеспеченностью запчастями испытывало большинство автосервисов (76 %). Но в наибольшей степени это явление проявлялось у официальных сервисов (рис. 3), которые должны пользоваться новыми оригинальными запчастями. Более 54 % вынуждены были увеличивать сроки ремонта, а проблемы с запчастями испытывают 77 % официальных автомастерских. Эта оценка совпадает с общероссийскими данными, а большее число случаев увеличения сроков ремонта связано с невозможностью использования бывших в употреблении и неоригинальных деталей в авторизованных мастерских.

Для Дальнего Востока ситуация смягчалась возможностью поставок неоригиналь-

ных запчастей из Китая, географической близостью японских и южнокорейских производителей, но при этом характеризовалась большой сложностью с поставками запчастей для европейских автомашин (рис. 4). Это объясняет превалирование ответов, характеризующих отсутствие проблем с запчастями у существенной части автосервисов (46 %) и вынужденную задержку ремонта у сервисов, обслуживающих европейские марки (36 %). Использование при ремонте и обслуживании бывших в употреблении, восстановленных и неоригинальных запчастей в особенности для несертифицированных автомобилей («праворульные» автомашины) достаточно характерно для российских регионов Дальнего Востока, что снижает остроту проблемы по обеспечению новыми запчастями.

Проблема отсутствия новых запасных частей была характерна в целом для российских автосервисов и практически всех марок (рис. 5): как для несертифицированных

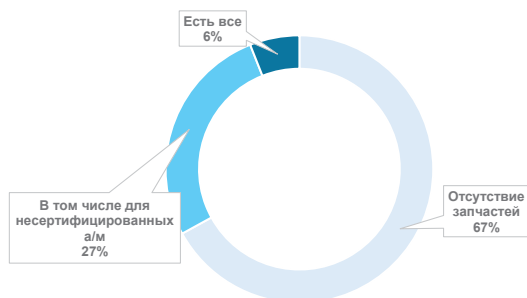


Рис. 6. Распределение ответов на вопрос «Для каких категорий автомобилей Вашего сервисного центра в настоящий момент отсутствуют новые запасные части?», октябрь 2022 года, % от компаний – официальных сервисных центров, принявших участие в конъюнктурном опросе.

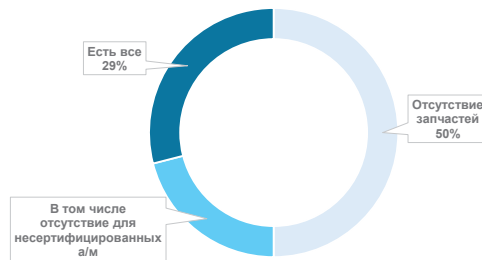


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос «Для каких категорий автомобилей Вашего сервисного центра в настоящий момент отсутствуют новые запасные части?», октябрь 2022 года, % от дальневосточных компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.



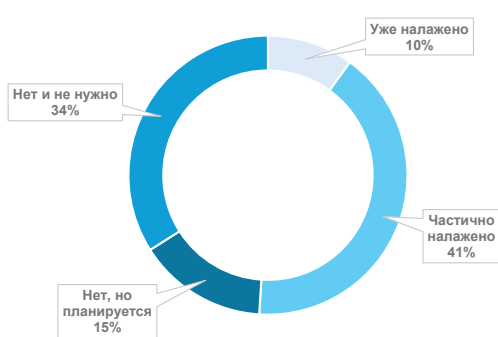


Рис. 8. Распределение ответов на вопрос «Налажено ли у Вас обеспечение новыми запасными частями (например, из третьих стран «параллельный импорт»)», октябрь 2022 года, % от компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

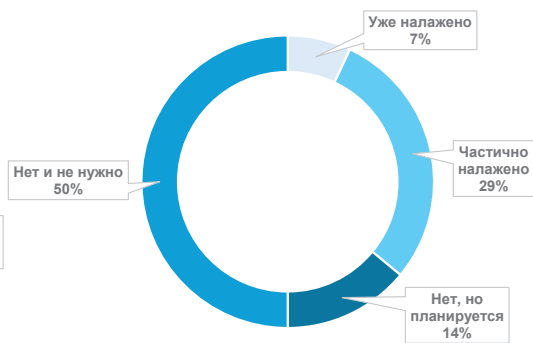


Рис. 9. Распределение ответов на вопрос «Налажено ли у Вас обеспечение новыми запасными частями (например, из третьих стран «параллельный импорт»)», октябрь 2022 года, % от компаний – официальных сервисных центров, принявших участие в конъюнктурном опросе.

(68 %), так и для официальных сервисов (рис. 6, 67 %). Все необходимые запчасти имелись в наличии только у 11 % автосервисов, а проблемы с деталями для несертифицированных автомобилей отмечали 21 % автосервисов, расположенных не только в европейской части России.

На Дальнем Востоке уровень обеспеченности запчастями выше, почти треть респондентов (29 %, рис. 7) отметила наличие всех необходимых автозапчастей. Тем не менее, и здесь уровень обеспокоенности, соответствующий имевшимся проблемам с отсутствием новых запчастей, – 50 %. Тем не менее, и на Дальнем Востоке часть респондентов отмечала проблемы с запчастями для несертифицированных автомобилей – 21 %.

Понятно, что решение проблем с автозапчастями в случае отсутствия возможности

приобретения у официального производителя может осуществляться различными путями, в том числе на основе организации параллельного импорта, который в 2022 году был разрешён в России. В данном случае проявились существенные различия между общероссийскими тенденциями и дальневосточной спецификой авторынка. На рис. 8–10 представлена информация об использовании параллельного импорта в деятельности автосервисов. В той или иной степени использовали или планировали использовать этот канал поставки запчастей 66 % автосервисов (рис. 8).

Официальные автосервисы в большей степени полагались на официальные же поставки, в половине случаев они не рассматривали иных вариантов поставки запчастей (рис. 9), при этом 36 % все же пользовались услугами параллельных импортёров.

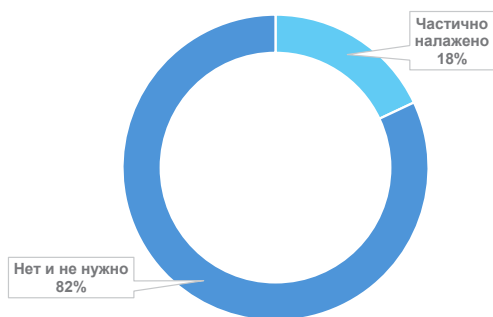


Рис. 10. Распределение ответов на вопрос «Налажено ли у Вас обеспечение новыми запасными частями (например, из третьих стран «параллельный импорт»)», октябрь 2022 года, % от дальневосточных компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

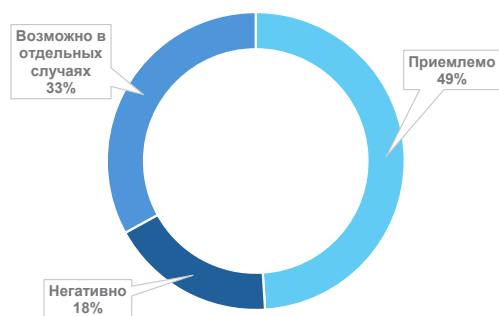


Рис. 11. Распределение ответов на вопрос «Как Вы оцениваете качество бывших в употреблении запасных частей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля (например, бампер и т. п.)?», октябрь 2022 года, % от компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

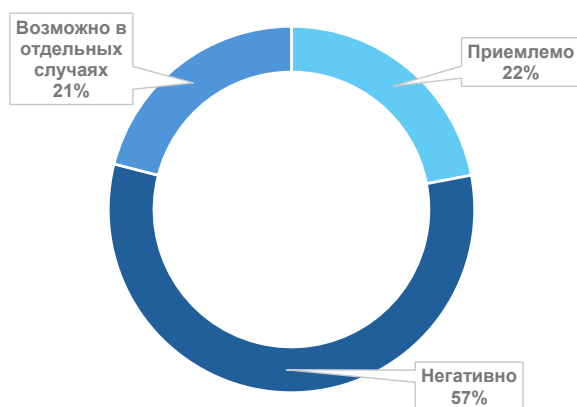


Рис. 12. Распределение ответов на вопрос «Как Вы оцениваете качество бывших в употреблении запасных частей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля (например, стекла, бампер и т. п.)?», октябрь 2022 года, % от компаний – официальных сервисных центров, принявших участие в конъюнктурном опросе.

Ситуация на Дальнем Востоке в меньшей степени зависит от поставок запчастей от европейских автопроизводителей, в итоге 82 % автосервисов не нуждались в поставках по линии параллельного импорта, а 18 % частично пользовались ими при необходимости (рис. 10).

В условиях дефицита новых запчастей вполне логично использование годных запчастей, уже бывших в употреблении. На настоящий момент такие запчасти могут использоваться, а в случае ремонта в рамках страховой выплаты по ОСАГО это возможно в случае согласия выгодополучателя. Поэтому целесообразно рассмотреть подход к использованию таких запчастей как со стороны автосервисов, так и автовладельцев.

В целом по России автосервисы считали возможным использование бывших в употреблении запасных частей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля. 82 % считали такую практику возможной хотя бы в отдельных случаях, а 49 % – в принципе приемлемым вариантом ремонта автомашины (рис. 11).

Официальные автосервисы вполне предсказуемо более негативно отнеслись к использованию бывших в употреблении деталей, что связано с гарантийными обязательствами, формализацией технологических процессов, в ряде случаев невозможностью или сложностью использования неновых деталей на автоматизированном оборудовании (рис. 12).

Интересно, что автосервисы российского Дальнего Востока также негативно отнеслись

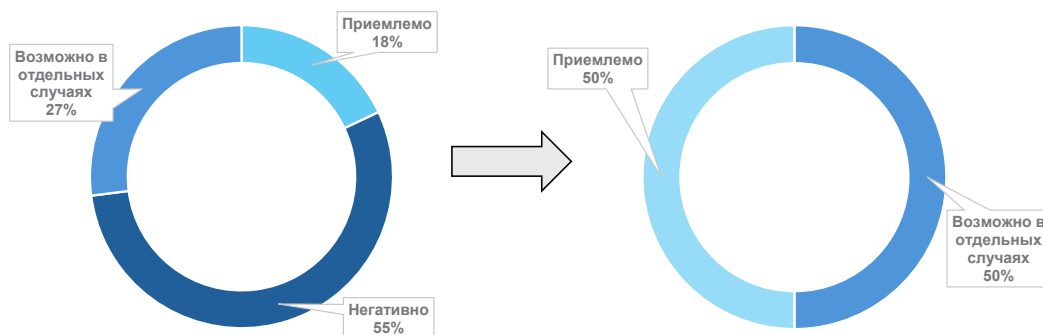


Рис. 13. Распределение ответов на вопрос «Как Вы оцениваете качество бывших в употреблении запасных частей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля (например, стекла, бампер и т. п.)?», октябрь 2022 года, % от дальневосточных компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе. На правой диаграмме представлена выборка данных по неавторизованным дальневосточным сервисам.





Рис. 14. Распределение ответов на вопрос «Готовы ли Ваши клиенты понижать категорию запчастей (например, вместо оригинальных применять аналоги, вместо аналогов применять восстановленные), чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта?», октябрь 2022 года, % от компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.



Рис. 15. Распределение ответов на вопрос «Готовы ли Ваши клиенты понижать категорию запчастей (например, вместо оригинальных применять аналоги, вместо аналогов применять восстановленные), чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта?», октябрь 2022 года, % от дальневосточных компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе. На правой диаграмме представлена выборка данных по неавторизованным дальневосточным сервисам.

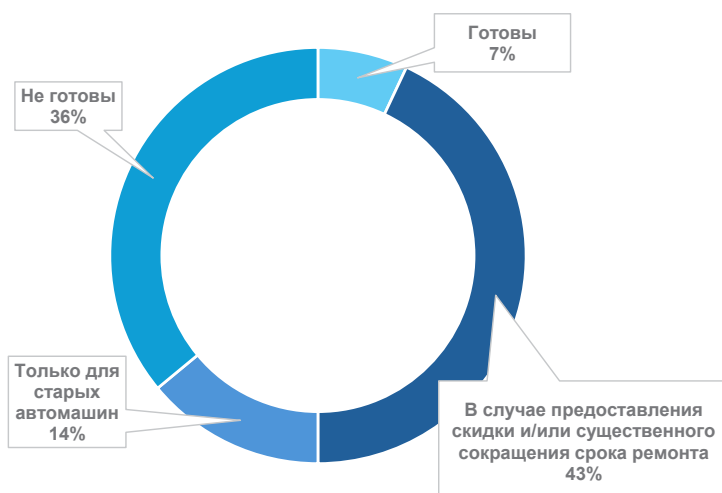


Рис. 16. Распределение ответов на вопрос «Готовы ли Ваши клиенты понижать категорию запчастей (например, вместо оригинальных применять аналоги, вместо аналогов применять восстановленные), чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта?», октябрь 2022 года, % от компаний – официальных сервисных центров, принявших участие в конъюнктурном опросе.

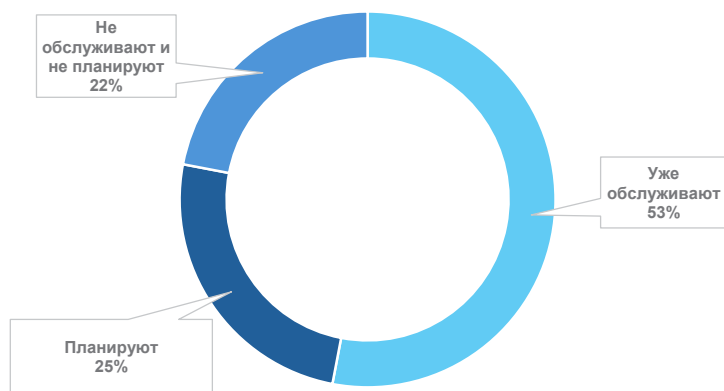


Рис. 17. Распределение ответов на вопрос «Планирует ли Ваш сервисный центр работу с марками из восточных стран (Китай, Индия, Иран и прочие)?», октябрь 2022 года, % от компаний, принявших участие в конъюнктурном опросе.

к использованию бывших в употреблении автодеталей (55 %, рис. 13). Отчасти это можно объяснить участием в опросе компаний, ремонтирующих автомобили по направлениям от страховых компаний, что предполагает на сегодня использование новых деталей. Также среди дальневосточных компаний – участников опроса, существенная часть являлась официальными сервисами. Это накладывает свой отпечаток на распределение ответов.

При этом в случае исключения из опроса дальневосточных компаний ответов авторизованных сервисных центров картина полностью меняется – остальные сочли, что использование бывших в употреблении запасных частей допустимо и приемлемо (50 % в большинстве случаев, а 50 % – в отдельных). А авторизованные сервисы на Дальнем Востоке высказались за использование оригинальных деталей в 91 % ответов. На это влияют те же причины, что и в целом для авторизованных сервисов, но и дополнительно объективно меньшие проблемы и затраты на изменившуюся логистику хотя бы в части японских и южнокорейских иномарок, преобладающих в регионе.

Оценка вероятности согласия потребителя на использование бывших в употреблении запасных частей варьировалась в зависимости от региона и качества сервиса. Очевидно, что ремонт «возрастных» машин, осуществляемый в личных гаражах или небольших частных мастерских и самозанятыми редко обходится без восстанов-

ления собственной или бывшей в употреблении детали. Ответы на вопрос «Готовы ли Ваши клиенты понижать категорию запчастей (например, вместо оригинальных применять аналоги, вместо аналогов применять восстановленные), чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта?» распределились, как показано на рис. 14. Основной движущий мотив – предоставление скидки или сокращение срока ремонта (47 %). Часть клиентов сразу спрашивает о такой возможности в случае сохранения безопасности эксплуатации транспортного средства, понимая объективно возникшие сложности с поставкой запчастей (13 %).

Дальневосточные клиенты почти в половине случаев были готовы на использование бывших в употреблении деталей (рис. 15).

Примечательно, что часть клиентов официальных сервисов сразу при обращении в сервис выражала готовность к ремонту с использованием аналогов и восстановленных запчастей, понимая возникшие сложности (рис. 16). Принципиально не готовы клиенты 36 % сервисов.

Для оценки перспектив развития в опросе был задан вопрос «Планирует ли Ваш сервисный центр работу с марками из восточных стран (Китай, Индия, Иран и прочие)?» (рис. 17). Не предполагали в ближне- и среднесрочной перспективе работать с новыми автопроизводителями 22 % респондентов, остальные либо уже работали (53 %), либо планировали начать работать, в том числе стать авторизованными центрами (25 %).





ВЫВОДЫ

1. В 2022 году сложился дефицит новых автозапчастей, что вызвало затруднения и увеличение сроков ремонта, это отметили 76 % сервисных центров. Существенные проблемы возникли у 26 % сервисов, а в случае авторизованных техцентров – в 54 %.

2. В достаточном количестве отсутствовали новые запасные части у 68 % российских автосервисов. На Дальнем Востоке уровень обеспеченности запчастями выше, 29 % респондентов в этом регионе отметили наличие всех необходимых автозапчастей. Проблема, зафиксированная практически у всех сервисов, – обеспечение новыми запчастями для несертифицированных (праворульных) автомобилей.

3. Обеспечение новыми запасными частями было налажено у не более, чем 10 % автосервисов, 30–40 % автосервисов планировали организовать такой процесс поставки запчастей. При этом на Дальнем Востоке такая потребность практически не заявлялась.

4. Качество бывших в употреблении запчастей, если замена детали не влияет на безопасность эксплуатации автомобиля, большинство неавторизованных сервисов оценивало как приемлемое. На Дальнем Востоке применительно к неавторизованным сервисам такое мнение являлось единственным.

5. Клиенты автосервисов готовы понижать категорию запчастей (например, вместо оригинальных применять аналоги, вместо аналогов применять восстановленные), чтобы ускорить ремонт или снизить цену ремонта в половине случаев. На решение оказывает влияние возраст машины и вероятность получения скидки или сокращения срока ремонта. Клиенты неавторизованных дальневосточных сервисов в подавляющем большинстве случаев (75 %) были готовы рассмотреть установку таких деталей в случае предоставления скидки.

Эти выводы основываются в первую очередь на результатах конъюнктурного исследования 2022 года и обобщают мнение респондентов. Другие аспекты поставленной проб-

лемы и анализ последующего развития ситуации подлежат дальнейшему рассмотрению.

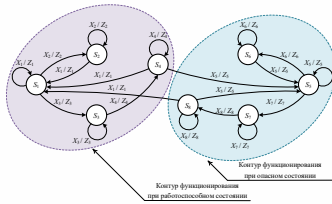
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грязнов М. В., Антропова Е. М. Баланс интересов в договоре на сервисное обслуживание автопарка // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 5 (66). – С. 152–165. EDN: YSQFTR.
2. Котляров И. Д. Организация автотранспортного обслуживания на основе коммерческого каршеринга // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 6 (67). – С. 78–85. EDN: ZGWNWL.
3. Разговоров К. И., Баженов Ю. В. Развитие системы гарантийного обслуживания автомобилей // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 2 (51). – С. 142–146. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/61>. Доступ 23.04.2023.
4. Рыбаков С. И. Оценка экономической эффективности транспортного страхования в Российской Федерации // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2022. – № 4. – С. 135–167. EDN: ZMFBCP.
5. Цыганов А. А., Языков А. Д., Яненко Е. А. Об изменениях территориального коэффициента ОСАГО в регионах России // Финансы. – 2020. – № 8. – С. 39–44. EDN: WBPPRN.
6. Языков А. Д., Цыганов А. А., Кириллова Н. В., Яненко Е. А. Общие показатели рынка ОСАГО 2015–2018 гг. // Страховое дело. – 2019. – № 4 (313). – С. 32–44. EDN: DVHSQZ.
7. Мельников В. В. Страхование автогражданской ответственности: что дальше? // Финансы. – 2017. – № 2. – С. 28–33. EDN: YICGAJ.
8. Соловьева Ю. Р., Хоминич И. П. О мерах по повышению эффективности ОСАГО // Страховое дело. – 2019. – № 9 (318). – С. 45–53. EDN: NCJMAV.
9. Дедиков С. В. Единый договор страхования ОСАГО и каско транспортных средств: правовые аспекты // Финансы. – 2019. – № 11. – С. 26–29. EDN: SAE LTS.
10. Каримуллина А. Э. Страховое возмещение в натуральной форме по договору ОСАГО: проблемы законодательства и правоприменительной практики // Транспортное право. – 2020. – № 2. – С. 9–12. EDN: LSF TDF.
11. Сплетугов Ю. А. Корректировка законодательства и повышение эффективности ОСАГО // Финансы. – 2021. – № 1. – С. 35–41. EDN: PLYROI.
12. Санникова Л. В. Проблемы защиты прав потребителей страховых услуг // Предпринимательское право. – 2020. – № 2. – С. 17–26. EDN: XPBXBU.
13. Зубец А. Н. Общественное восприятие стоимости ОСАГО // Страховое право. – 2020. – № 2 (87). – С. 20–24. EDN: HAOTRS.
14. Зубец А. Н. Оценка качества работы страховщиков при продаже полисов ОСАГО и при страховых выплатах (по данным социологических исследований) // Страховое дело. – 2020. – № 1 (322). – С. 42–47. EDN: WZTQWR.
15. Туленты Д. С. К вопросу об адекватности цен и маржинальности в ОСАГО // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2020. – № 10 (229). – С. 40–51. EDN: JQPDZT.
16. Белецкий И. А. Мошенничество в сфере ОСАГО // Законодательство. – 2019. – № 10. – С. 71–75. EDN: TZMSUQ.

Информация об авторе:

Цыганов Александр Андреевич – профессор, доктор экономических наук, руководитель Департамента страхования и экономики социальной сферы Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, al_ts@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 04.05.2023, одобрена после рецензирования 17.07.2023, принята к публикации 21.08.2023.



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ 116

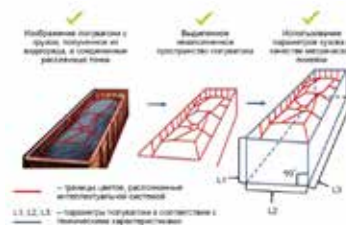
Мониторинг искусственных сооружений на автодорогах и управление дорожным движением.



УСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК 126

Контрейлерные системы: универсальные характеристики и критерии выбора.

БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ



КОНТРОЛЬ СОХРАННОСТИ ГРУЗОВ 135

Стереофотограмметрия, свёрточная нейронная сеть для наблюдения за грузами, перевозимыми в полувагонах.



МЕЖДУНАРОДНОЕ ПРАВО 142

Обеспечение безопасности на морском транспорте: роль и инструменты Международного кодекса по охране судов и портовых средств.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 681.518.5+656.1/.5

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 116–125

Технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами



Дмитрий ЕФАНОВ



Евгений МИХАЙЛЮТА



Артём ПАШУКОВ

Дмитрий Викторович Ефанов¹, Евгений Михайлович Михайлюта², Артём Валерьевич Пашуков³

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия.

¹ Научно-исследовательский и проектный институт транспортной и строительной безопасности, Санкт-Петербург, Россия.

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

¹ Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Республика Узбекистан.

✉ ¹ TrES-4b@yandex.ru.

¹ ORCID 0000-0002-4563-6411; Researcher ID: A-1096-2017; Scopus ID: 36349091500; Author ID: 320051.

² SPIN-код: 5191-7298, Author ID: 1220988.

³ Scopus ID: 57337153300; SPIN-код: 4189-4012.

АННОТАЦИЯ

Описываются технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами. Разработаны физическая и функциональная архитектуры информационного сопряжения данных систем.

Отмечаются возможности использования данных мониторинга для автоматического запуска сценариев для нештатного ситуационного управления дорожным движением.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система; система мониторинга инженерных конструкций; информационное сопряжение систем; автоматическое ситуационное управление; использование данных мониторинга для запуска сценариев.

Разработана математическая модель, описывающая особенности переключения режимов управления дорожным движением.

Описаны шаги по реализации предназначенного для этого цифрового устройства. Сформирован простейший алгоритм диагностирования и активации сценария при опасном состоянии объекта мониторинга.

Результаты представленной работы целесообразно учитывать при разработке интеллектуальных транспортных систем в автодорожной отрасли в целях совершенствования уровня безопасности дорожного движения.

Для цитирования: Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М., Пашуков А. В. Технологические основы информационного сопряжения систем мониторинга искусственных сооружений автомобильных дорог с интеллектуальными транспортными системами // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 116–125. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Развитие регионов и городов идёт по пути интеллектуализации процессов и создания «умных» систем и подсистем, способных к самоадаптации и к предоставлению пользователям расширенного набора сервисов [1; 2]. Всё это в полной мере характеризует и транспортные системы регионов и городов.

Использование интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на автомобильном транспорте позволяет совершенствовать принципы регулирования дорожного движения и, что немаловажно, повышать безопасность перевозочного процесса. ИТС внедряются по всему миру, включая автомобильные дороги Российской Федерации [3; 4].

ИТС реализуются с использованием разнообразных технических средств, позволяющих предоставлять участникам движения (коммерческого, корпоративного и социального сегментов) различные инфокоммуникационные сервисы: от автоматического взимания платы за проезд и управления стоянками до оптимизации транспортных потоков в зависимости от загруженности дорог [5]. Роль ИТС в системе движения на дорожных артериях крупных городов, вообще, невосполнима, поскольку именно использование предоставляемых ими сервисов позволяет пользователям существенно экономить временной ресурс.

ИТС включают в себя аппаратные и программные составляющие, в том числе устройства мониторинга транспортных средств, транспортных потоков и объектов инфраструктурного комплекса. Требования к функциональной и физической архитектурам ИТС приведены в ГОСТ Р 56294–2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем». Для достижения целей управления ИТС используют сценарии, позволяющие реализовывать штатный и нештатный режимы управления. Штатный режим управления позволяет управлять дорожным движением в соответствии с запланированной работой, нештатный – в зависимости от сложившейся ситуации. Нештатное управление может быть оперативным и ситуационным: под первым понимают управление, требующее запланированного вмешательства (к примеру, выделение приоритета для отдельных видов транспорта), а под вторым – управление, требующее незапланированного вмешательства в работу системы

(например, управление при возникновении дорожно-транспортного происшествия).

На автомобильных дорогах, где присутствуют сложные и уникальные технические сооружения, часто внедряются системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК) (или же более функциональные структурированные системы мониторинга и управления инженерными системами (СМИС), в структуры которых входит, как правило, и СМИК [6]), позволяющие в реальном масштабе времени анализировать их техническое состояние.

В нормативном документе ГОСТ Р 59200–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Мосты и трубы. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила» в п. 7.2.9 указывается, что управление состоянием мостовых сооружений, в том числе, осуществляют с использованием систем мониторинга технического состояния строительных сооружений с учетом требований ГОСТ Р 22.1.12 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования», а в п. 7.2.10 указывается, какие именно мостовые сооружения являются объектами мониторинга:

- с большими пролетами (длиной более 100 м);
- большой высоты (высота опор более 40 м);
- со сложными конструктивными решениями и особенностями (висячих или вантовых систем, совмещённых и разводных);
- эксплуатируемые в сложных инженерно-геологических, сейсмических или климатических условиях;
- после строительства, реконструкции, модернизации или ремонта, осуществлённых с использованием новых технологий, конструкций и материалов;
- эксплуатируемые в аварийном состоянии, вызванном чрезвычайными обстоятельствами в период ликвидации аварийных ситуаций.

Системами автоматизированного мониторинга оснащены многие объекты по всему миру, наиболее часто к ним относятся мостовые сооружения [7–9]. В России, например, системами автоматизированного мониторинга оборудованы транспортный переход через Керченский пролив [10], мостовой переход на остров Русский через пролив Босфор Восточный [11], мостовой переход через реку Пур



в Ямало-Ненецком автономном округе [12] и многие другие объекты. Использование данных систем даёт возможность выявления развития критических ситуаций, связанных с эксплуатацией объектов мониторинга и соответствующего оперативного вмешательства в управление дорожным движением.

За счёт использования СМИК можно было бы предотвратить большое количество крупных аварий и катастроф, например, известную катастрофу моста Моранди в Италии, произошедшую 14 августа 2018 года, когда один из пролетов моста обрушился вместе с десятками автомобилей, что привело к гибели людей¹. ИТС могли бы реализовывать нештатное ситуационное управление с учетом работы действующих на автомобильных дорогах СМИК. Тем не менее, пока такая увязка в полной мере не осуществлена – результаты мониторинга конструкций анализируются диспетчерским персоналом и автоматически не используются при реализации сценариев для управления дорожным движением. Более того, на нормативном уровне в автодорожной области информационное сопряжение не регламентировано (нет действующих межгосударственных и национальных стандартов, а также отраслевых дорожных методических документов).

Данная статья посвящена изложению технологических особенностей информационного сопряжения СМИК и ИТС, позволяющего в перспективе ближайшего будущего автоматически запускать сценарии нештатного ситуационного управления на автомобильных дорогах при критических изменениях состояний объектов мониторинга.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Информационное сопряжение систем мониторинга и управления

Предварительно необходимо отметить несколько важных аспектов в части эксплуатации СМИК.

Во-первых, данные системы не сертифицируются на уровне полноты безопасности и зачастую дают результаты с невысокой достоверностью, что, несомненно, требуется учитывать при использовании данных мониторинга в управлении какими-либо ответственными технологическими процессами. Поэтому на СМИК должны в обязательном

порядке накладываться требования по достоверности фиксации так называемых диагностических событий – событий, которые наступают в процессе эксплуатации объекта мониторинга. В автодорожной отрасли необходимо на нормативном уровне регулировать процедуру реализации СМИК с требуемым уровнем полноты безопасности.

Во-вторых, в самих ИТС должны присутствовать средства аналитики данных от СМИК (или же данные должны учитываться в каких-либо внешних платформах аналитики до передачи их в аппаратно-программные комплексы ИТС) – к примеру, данные от СМИК и от средств мониторинга загруженности автомобильной дороги никак совместно не обрабатываются, что не даёт возможности фиксации точной причины нагрузки на объект мониторинга и, соответственно, не даёт возможности учёта данных мониторинга при реализации дополнительных сценариев управления дорожным движением.

В-третьих, требуется установить перечень критических диагностических ситуаций, вызывающих изменения в режимах управления дорожным движением и переводящих транспортный комплекс в опасное состояние. К примеру, выделение как минимум одной диагностической ситуации, которая связана с переходом объекта мониторинга в опасное состояние, не гарантирующее безопасную его эксплуатацию.

Учитывая эти аспекты, перейдем к описанию архитектуры информационного сопряжения систем мониторинга и управления, а также к технологическим основам информационного сопряжения.

Прежде всего, отметим, что данная задача уже не один раз поднималась в смежных отраслях транспорта – на железных дорогах до сих пор нет информационного сопряжения СМИК (и других систем стационарного автоматизированного мониторинга) с системами автоматизированного управления движением поездов [13]. Однако попытки такой увязки в ОАО «РЖД» делаются, что, например, показано в [14]. Отметим, что описанное в данной работе информационное сопряжение СМИК и системы управления движением поездов безопасным являться не может, так как нормативно в отрасли не определена достоверность результатов мониторинга. Тем не менее, руководство ОАО «РЖД» уже сегодня продумывает разработку нормативной документации в части

¹ Автомобильный мост рухнул в итальянской Генуе и убил десятки людей. [Электронный ресурс]: <https://lenta.ru/news/2018/08/14/bridge/>. Доступ 01.06.2023.

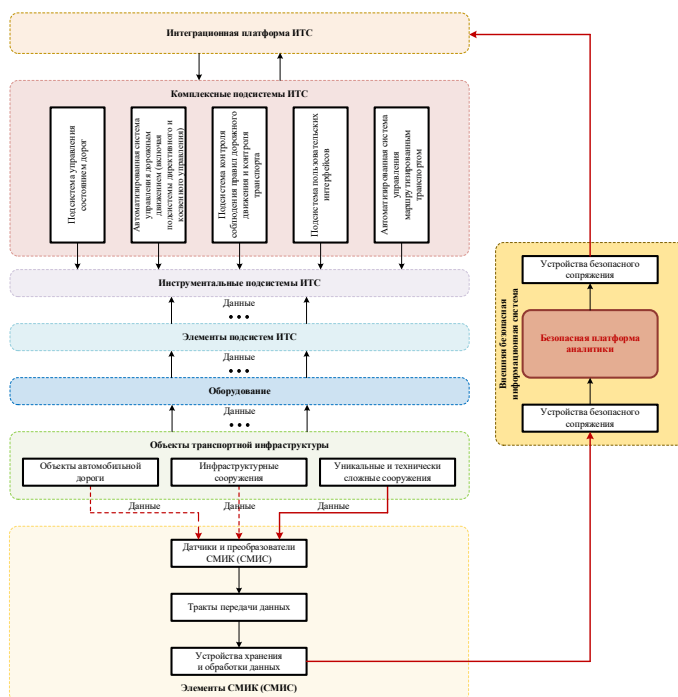


Рис. 1. Архитектура аппаратных средств [разработано авторами].

использования и эксплуатации СММК, а также интерпретации результатов мониторинга.

В [15] описаны основы создания безопасных систем управления движением поездов с информационным сопряжением с измерительными системами. Учёт наработок в области железнодорожного транспорта, где системы управления движением поездов сертифицируются на наивысший уровень полноты безопасности УПБ 4 / SIL 4, крайне важен для автодорожной отрасли.

Архитектуры информационного сопряжения систем мониторинга и управления

Определим некоторые важные функциональные требования к информационному сопряжению СММК и ИТС:

- от СММК данные поступают во внешнюю безопасную платформу аналитики, которая генерирует информационные сообщения с заданной наперед достоверностью (она должна быть регламентирована) и далее передаёт в ИТС только сигнал о тревожном уровне для объекта мониторинга (для данного примера ограничимся только таким сигналом, в реальности же можно сделать куда более глубокую градацию диагностических ситуаций);

- СММК и ИТС должны иметь совместимые протоколы для интеграции;

- данные от СММК должны иметь высокую достоверность для последующего анализа, причем данный показатель должен быть стандартизирован;

- СММК и внешняя безопасная платформа аналитики должны обрабатывать данные в реальном масштабе времени для оперативной реализации запуска сценариев в ИТС;

- информационное сопряжение должно соответствовать требованиям киберзащищённости;

- интеграция СММК и ИТС, а также взаимодействие между системами должны соответствовать стандартам безопасности и сохранности данных.

Аппаратная и функциональная архитектуры ИТС с информационным сопряжением с техническими средствами СММК приведены на рис. 1 и 2. Они разработаны авторами настоящей статьи с учётом архитектуры ИТС, приведенной в ГОСТ Р 56294-2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем», и архитектуры СММК, приведённой в ГОСТ Р 59943-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Системы мониторинга мостовых сооружений. Правила проектирования».

Отметим, что системами мониторинга охватываются не все объекты инфраструк-



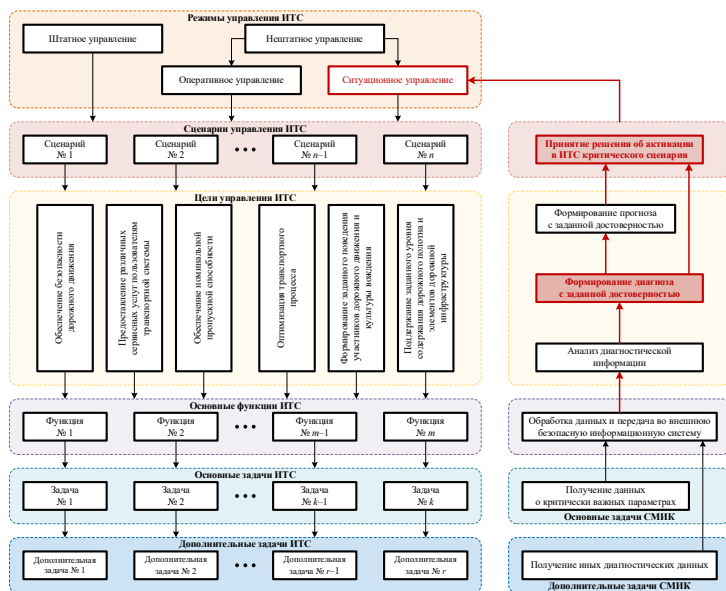


Рис. 2. Архитектура функциональных средств [разработано авторами].

туры автомобильных дорог, а только некоторые, что показано на рис. 1 сплошной стрелкой; пунктирными стрелками показаны объекты, которые не в обязательном порядке могут быть оснащены стационарными средствами мониторинга. Информационное сопряжение осуществляется через «надстройку» – безопасную платформу аналитики результатов мониторинга. Таким образом, элементы аппаратных средств ИТС фактически включают в себя элементы СММК и саму безопасную платформу аналитики и принятия решения об активации критических сценариев, соответствующих ненормативному состоянию объектов транспортной инфраструктуры.

Синтез аппаратных средств для информационного сопряжения систем мониторинга и управления

Для синтеза аппаратных средств для информационного сопряжения систем мониторинга и управления требуется определить множество состояний, в которых может находиться система. Поставим задачу следующим образом. Имеется два основных (обобщенных) режима функционирования ИТС: 1) функционирование при работоспособности объекта мониторинга; 2) функционирование при фиксации опасного состояния объекта мониторинга. Требуется синтезировать устройство переключения сценариев для управления дорожным движением.

Воспользуемся математической моделью конечного автомата [16].

На рис. 3 изображён граф переходов конечного автомата ИТС, которая в качестве подсистемы имеет СММК некоторого объекта (например, мостового сооружения). В графе каждая вершина соответствует состоянию системы, а дуги указывают на возможные переходы между состояниями. На дугах подписаны через косую черту значения входных векторов $\langle X \rangle = \langle x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i \rangle$ и выходных $\langle Z \rangle = \langle z_1 \ z_2 \ \dots \ z_m \rangle$. При этом в каждом конкретном состоянии значения разрядов входных и выходных векторов определены однозначно, поэтому на дугах у входного вектора и выходного подписаны индексы тех состояний, в которые входят дуги.

Начальное состояние S_1 – состояние, при котором реализуется штатный режим управления, а объект мониторинга находится в работоспособном состоянии. Процесс функционирования при данном режиме продолжается, а параллельно с наперёд заданными периодами измерения τ_i СММК собирает данные от i -го числа диагностических датчиков (периоды получения данных, как правило, различные). Другими словами, через заданный период времени осуществляется переход в состояние S_2 и обратно в состояние S_1 . По мере накопления данных через заданные интервалы времени τ_d осуществляется комплексный анализ с формированием диагноза, прогноза, вычислением показателей надежности, оценкой рисков нарушения безопасности дорожного движения. То есть, происходит переход из состояния S_1 в состояние S_2 , а затем осу-

Таблица 1

Таблица переходов и выходов конечного автомата

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
S_1	$(S_1), 0$	~	~	~	$S_3, 0$	~	~	~	$S_2, 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_2	$S_1, 0$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_3	~	~	$S_4, 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_4	$S_1, 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_5	~	$(S_5), 1$	~	~	~	$S_7, 1$	~	~	~	$S_6, 1$	~	~	~	~	~	~
S_6	~	$S_5, 1$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~
S_7	~	~	$S_8, 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_8	$S_1, 0$	~	$(S_8), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Таблица 2

Минимизированная таблица переходов конечного автомата

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
S_1, S_2, S_3, S_4	$(S_1), 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_5, S_6, S_7, S_8	$S_1, 0$	$(S_3), 1$	$(S_8), 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~

существляется выбор режима управления – переход в состояние S_4 . В данном состоянии система находится кратковременно. Выход из него возможен путем перехода в состояние S_1 , либо же в состояние S_5 – это состояние, при котором для объекта мониторинга по данным СМИК зафиксировано критическое состояние (например, ограниченно работоспособное или вовсе неработоспособное). Назовем это состояние *опасным* для движения. В этот момент запускается сценарий нештатного ситуационного управления, связанного с ограничениями для движения через объект мониторинга. Диагностические процедуры продолжаютс. Система с заданным периодом переходит в состояние S_6 , а затем обратно – в S_5 . Затем, по мере накопления данных, осуществляется их комплексный анализ – переход из состояния S_1 в состояние S_7 . При этом период комплексного анализа может быть уменьшен $\tau_{A*} \leq \tau_A$. Далее осуществляется выбор режима функционирования ИТС – переход в состояние S_8 . Аналогично состоянию S_4 осуществляется выбор режима управления и переход в состояние S_5 , либо в состояние S_1 . Это фиксирует сама система. Но в части физической обслуживающий персонал выполняет необходимые процедуры по проверке

технического состояния объекта мониторинга и восстановительные работы, после чего ИТС, убедившись в отсутствии опасности, запускает сценарий безопасного функционирования при работоспособности объекта мониторинга. Алгоритм информационного сопряжения представлен на рис. 4.

На рис. 5 приведён один из вариантов кодирования входных и выходных векторов: x_1 – включение измерения, x_2 – включение анализа, x_3 – выбор режима управления, x_4 – активация режима управления, z – сигнализация об используемом режиме управления.

Пользуясь известной методикой синтеза конечного автомата [16], реализуем цифровое

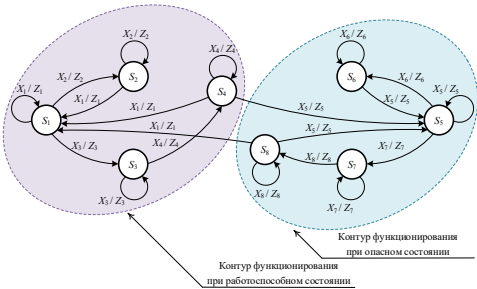


Рис. 3. Граф переходов ИТС для двух режимов функционирования объекта мониторинга [разработано авторами].



Таблица 3

Кодированная таблица переходов конечного автомата

y	x_1, x_2, x_3, x_4															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	(0), 0	1,1	(0), 0	~	(0), 0	~	~	~	(0), 0	~	~	~	~	~	~	~
1	0,0	(1), 1	(1), 1	~	~	(1), 1	~	~	~	(1), 1	~	~	~	~	~	~

Таблица 4

Таблица определения значений функций Y_S, Y_R

$y(t-1)$	$y(t)$	
	0	1
0	0~	10
1	01	~0

Таблица 5

Таблица истинности функций включения Y_S и Y_R триггеров

№	x_1, x_2, x_3, x_4, y	Y_{S1}	Y_{R1}	z
0	00000	0	~	0
1	00001	0	1	0
2	00010	1	0	1
3	00011	~	0	1
4	00100	0	~	0
5	00101	~	0	1
6	00110	~	~	~
7	00111	~	~	~
8	01000	0	~	0
9	01001	~	~	~
10	01010	~	~	~
11	01011	~	0	1
12	01100	~	~	~
13	01101	~	~	~
14	01110	~	~	~
15	01111	~	~	~
16	10000	0	~	0
17	10001	~	~	~
18	10010	~	~	~
19	10011	~	0	1
20	10100	~	~	~
21	10101	~	~	~
22	10110	~	~	~
23	10111	~	~	~
24	11000	~	~	~
25	11001	~	~	~
26	11010	~	~	~
27	11011	~	~	~
28	11100	~	~	~
29	11101	~	~	~
30	11110	~	~	~
31	11111	~	~	~



Рис. 4. Алгоритм информационного сопряжения СММК и ИТС [разработано авторами].

устройство, функционирующее согласно математической модели, представленной на рис. 5. Для этого составим таблицу переходов и выходов конечного автомата (таблица 1).

Затем минимизируем и закодируем таблицу переходов (таблицы 2 и 3).

После кодирования таблицы переходов и выходов произведем вычисления значений

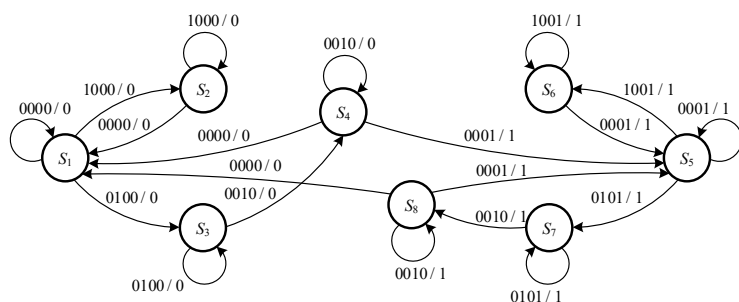


Рис. 5. Кодированный граф переходов ИТС для двух режимов функционирования объекта мониторинга [разработано авторами].

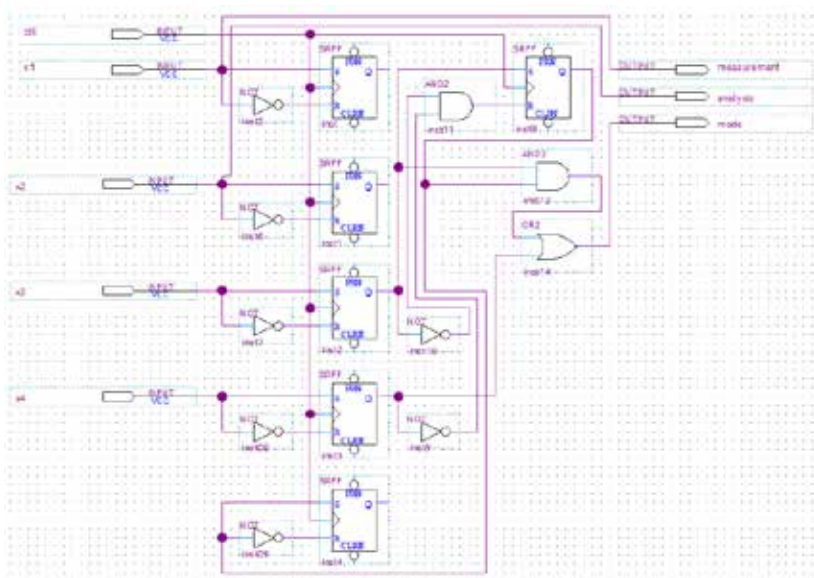


Рис. 6. Конечный автомат на RS-триггерах [разработано авторами].

функций включения элементов памяти. Используем реализацию на стандартных RS-триггерах, логика функционирования которых задана табл. 4 [16].

В табл. 4 предыдущий момент времени обозначен как $t - 1$, а действующий – как t .

Используя правила, изложенные в табл. 4, построим таблицу значений Y_S и Y_R входов RS-триггеров на всех входных комбинациях. Данные занесём в таблицу 5.

Выпишем и минимизируем функции из таблицы истинности:

$$Y_{S1} = x_4;$$

$$Y_{R1} = \overline{x_3 x_4};$$

$$z = x_4 \vee x_3 y.$$

По данным формулам на рис. 6 в среде Quartus [17] реализован конечный автомат. После минимизации он имеет вид, представленный на рис. 7.

На рис. 8 приведена временная диаграмма работы синтезированного конечного автомата в режиме прогона состояний по следующей цепочке: $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_6 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_1$.

На диаграмме использованы следующие обозначения: clk – синхронизирующий импульс, $x_1 - x_4$ – входы схемы, выходы «measurement», «analysis», «mode» – соответственно измерение, анализ и режим управления.

Каждое состояние – это 2 такта работы синхронизирующего импульса. Выход «Mode» («Режим») сдвинут на пол импульса из-за логики работы триггеров в схеме. Сдвиг зависит от длины синхронизирующего импульса, параметры которого могут быть настроены индивидуально под определенный тип триггеров (составляет доли секунды). Вертикальными (красными) линиями на диаграмме отмечены границы перехода из одного режима в другой.

Сам конечный автомат был синтезирован для эксперимента на программируемой



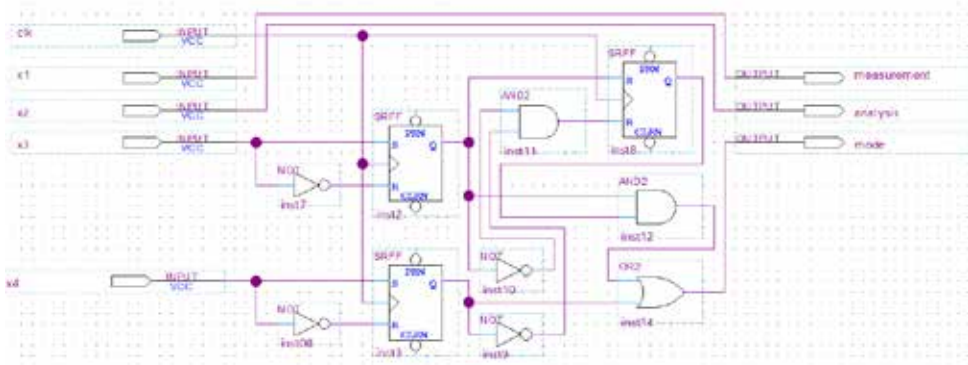


Рис. 7. Минимизированный конечный автомат на RS-триггерах [составлено авторами].

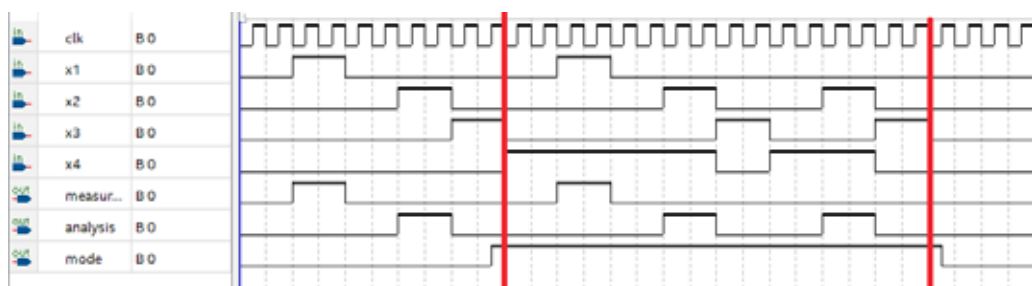


Рис. 8. Временная диаграмма работы конечного автомата [разработано авторами].

логической интегральной схеме MAX II EPM240T100C4 класса CPLD (Complex Programmable Logic Device) [18]. Данную схему авторы уже неоднократно использовали для реализации цифровых устройств управления и экспериментов [19]. Она содержит 240 элементов логики (LE), 192 макроэлемента и максимально 80 пользовательских выводов I/O. Синтезированное устройство потребовало 3 логических элементов (около 1 % от общего объема) и 8 пользовательских выводов (10 % от общего числа). Подчеркнём, что выше приведён пример реализации устройства информационного сопряжения СМИК и ИТС на RS-триггерах на схемах с программируемой логикой. При реализации устройства может использоваться как другой тип элементов памяти, так и любая элементная база. Возможна и программная реализация конечного автомата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информационное сопряжение СМИК и ИТС в части автоматического запуска сценариев при определении опасного состояния объекта мониторинга позволит значительно повысить безопасность дорожного движения. Представленные в настоя-

щей статье результаты по формированию математической модели устройства информационного сопряжения систем и пример аппаратной реализации могут на практике применяться при реализации тесно интегрированных СМИК и ИТС. Это, в свою очередь, даёт возможность управления надёжностью и безопасностью перевозочного процесса за счет минимизации интенсивностей отказов технических средств [20].

Обратим, однако, внимание на нерешённую до сих пор задачу обеспечения постановки диагноза (и последующего прогноза) с высокой, наперёд заданной, достоверностью. Кроме того, в автомобильной отрасли до сих пор не решена задача формирования технических требований к безопасным платформам аналитики данных и к системам автоматизированного мониторинга, включённым в обратные цепи систем управления. Решение этих и сопутствующих задач, по всей видимости, относится к перспективам ближайшего будущего.

Развитие ИТС на автомобильных дорогах Российской Федерации – стратегически и экономически важное направление деятельности научных и инженерных сообществ, приближающее нас к максимально безопасному перевозочному процессу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
2. AI-Centric Smart City Ecosystems: Technologies, Design and Implementation. Edited by A. Khang, S. Rani, A. K. Sivaraman. CRC Press, Boca Raton, USA, 2022, 304 p. DOI: 10.1201/9781003252542.
3. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы. – М.: МАДИ, 2016. – 120 с. [Электронный ресурс]: <https://lib.madi.ru/fel/fel16E377.pdf>. Доступ 24.05.2023.
4. Евстигнеев И. А. Основы создания интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях России. – М.: СПб: Издательство «Перо», 2021. – 294 с. ISBN 978-5-00189-482-7.
5. Кяра Б. Д., Бикулько Д. Н., Фуско Г., Барабино Б., Корона Д., Росси Р., Студер Л. ИТС на автомобильном транспорте. Технологии, методы и практика применения. – М.: ООО «Типография Парадиз», 2014. – 532 с.
6. Посохов Н. Н., Сосунов И. В. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) – что это такое? // Мониторинг: наука и безопасность. – 2011. – № 1. – С. 12–17. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16372979>. Доступ 15.07.2023.
7. Andersen, J., Vesterinen, A. Structural Health Monitoring Systems. Denmark, COWI A/S, 2006, 125 p. [Электронный ресурс]: https://shms.dk/COWI_ISBN-87-91044-04-9.pdf. Доступ 15.07.2023.
8. Belyi, A., Shestovitskii, D., Myachin, V., Sedykh, D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity. In: Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13–16, 2019, pp. 201–206. DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.
9. Sun, D. L., Shang, Z., Xia, Y., Bhowmick, S., Nagarajaiah, S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection. Journal of Structural Engineering, 2020, Vol. 146, Iss. 5, 04020073. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.
10. Мячин В. Н., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Системы мониторинга Крымского моста // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2022. – № 5 (100). – С. 79–81.
11. Мячин В. Н., Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Зуева М. В., Вадгама Х. Н. Технология анализа результатов мониторинга при эксплуатации мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке // Дороги и мосты. – 2023. – № 1 (49). – С. 177–195. [Электронный ресурс]: <https://rosdorni.ru/upload/iblock/4d6/p8vw5ls71fqjb6fwkesh884nfd4yh1q3/10-Myachin-Tekhnologiya-analiza-rezultatov-monitoringa.pdf?ysclid=lmrjtgc574523570255>. Доступ 01.06.2023.
12. Аганов И. А., Осадчий Г. В., Ефанов Д. В., Мирошниченко О. В., Кубрак В. Ю. Система мониторинга инженерных конструкций на Пуровском мосту // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5–6 (96–97). – С. 47–51. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47467323>. Доступ 01.06.2023.
13. Efanov, D., Osadchy, G., Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. In: Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Cracow, Poland, September 22–25, Vol. 1, pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985.
14. РЖД: мост с первой инновационной системой непрерывного мониторинга и подключением к управлению заградительным сигналом // Мостовые сооружения. XXI век. – 2021. – № 4 (51). – С. 18–19.
15. Ефанов Д. В., Хоросhev В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 3 (100). – С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
16. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. Основы теории надежности и технической диагностики. – СПб.: Изд-во «Лань», 2019. – 588 с. ISBN 978-5-8114-3453-4.
17. Акчурин А. Д., Юсупов К. М., Колчев А. А. Основы работы в среде Quartus II. – Казань: КФУ, 2017. – 49 с. [Электронный ресурс]: <https://pdfslide.net/documents/-quartus-ii-.html?page=1>. Доступ 24.05.2023.
18. MAX II Device Handbook. Vol. 1. Altera Corporation, 2006, 102 p. [Электронный ресурс]: <https://www.farnell.com/datasheets/8698.pdf>. Доступ 24.05.2023.
19. Ефанов Д. В., Пашуков А. В. Синтез устройств управления железнодорожными стрелками с обнаружением неисправностей и функциями самодиагностирования на программируемых логических интегральных схемах // Наука и техника транспорта. – 2023. – № 1. – С. 82–89. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50475884&ysclid=lmhs0q5hmz23438654>. Доступ 24.05.2023.
20. Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Управление надежностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 2 (105). – С. 84–94. EID: NKTSHU. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-10>. ●

Информация об авторах:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, профессор, действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники; профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия; заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО «Научно-исследовательский и проектный институт транспортной и строительной безопасности (ООО «НИПИ «ТрансСтройБезопасность»)), Санкт-Петербург, Россия; профессор кафедры автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского государственного университета транспорта, Москва, Россия; профессор кафедры автоматизации и телемеханики Ташкентского государственного транспортного университета, Ташкент, Республика Узбекистан, TrES-4b@yandex.ru.

Михайлюта Евгений Михайлович – аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ Петра Великого), Санкт-Петербург, Россия, evgeniytmix@gmail.com.

Пашуков Артём Валерьевич – старший преподаватель кафедры автоматизации, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, art_pash@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023, одобрена после рецензирования 07.09.2023, принята к публикации 15.11.2023.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.073:502.131.1

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-14>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 126–134

Критерии устойчивости контрейлерной системы



Александр ЦЫГАНОВ



Никита ОСИНЦЕВ



Александр РАХМАНГУЛОВ



Андрей ЗЕНКИН

Александр Владимирович Цыганов¹, Никита Анатольевич Осинцев²,
Александр Нельевич Рахмангулов³, Андрей Анатольевич Зенкин⁴

^{1, 2, 3} Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия.

⁴ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ¹ tsyganov.alek@gmail.com

✉ ³ ran@magtu.ru

² ORCID 0000-0003-1168-6725.

³ ORCID 0000-0002-6419-2561; Scopus ID: 13805427400; Author ID: 101054.

⁴ ORCID 0000-0001-9989-2907; SPIN-код: 2147-5926.

АННОТАЦИЯ

Достижение целей концепции устойчивого развития стимулирует использование в целях поставок мультимодальных систем и интермодальных технологий доставки грузов. Конфигурация сетевой структуры цепей поставок в этом случае усложняется в результате увеличения числа участников и разнообразия технико-технологических параметров транспортных систем. Авторами выполнен анализ проблем использования контрейлерной технологии в составе цепей поставок.

Целью данного исследования выступает установление комплекса универсальных характеристик контрейлерных систем, определяющих их устойчивость в цепях поставок. В работе использован системный подход для представления контрейлерной технологии как сложной технической системы, основными элементами которой являются интермо-

дальные транспортные единицы, железнодорожный подвижной состав и терминалы, связанные технологиями и организацией контрейлерных перевозок. Разработана оригинальная система критериев выбора контрейлерной системы, учитывающая современную тенденцию формирования транспортных систем и цепей поставок с позиции их устойчивого развития.

Показано, что решение об использовании контрейлерных систем в составе устойчивых цепей поставок необходимо принимать на основе многокритериальной оценки параметров всех элементов и связей этих систем. Разработанная авторами система критериев позволяет адекватно оценивать контрейлерные системы, согласовывать их технические и технологические параметры, а также обосновывать решения по унификации интермодальных транспортных единиц.

Ключевые слова: мультимодальная перевозка, комбинированная перевозка, интермодальная перевозка, контрейлерная система, цепь поставок, устойчивое развитие.

Финансовая поддержка: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–21–00164, <https://rscf.ru/project/23–11–00164/>.

Для цитирования: Цыганов А. В., Осинцев Н. А., Рахмангулов А. Н., Зенкин А. А. Критерии устойчивости контрейлерной системы // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 126–134. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-14>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

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

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений формирования «экологически чистых» транспортных систем является развитие мультимодальных систем доставки грузов, основанных на интегрированном взаимодействии различных видов магистрального транспорта [1; 2]. Разнообразием мультимодальных технологий является контрейлерная технология, в которой на комплексной основе используются железнодорожный и автомобильный виды транспорта [3]. Реализация этой технологии предполагает размещение груза в интермодальной транспортной единице (ИТЕ), способной к перевозке указанными видами транспорта в пределах всей мультимодальной системы доставки.

В мировой транспортной системе регулярные перевозки грузов с использованием контрейлерной технологии начали осуществляться со второй половины XX века. Сильная конкуренция конструкторских и технологических решений в транспортной отрасли способствовала появлению различных вариантов контрейлерной технологии, имеющих существенные различия инженерных решений. Эти варианты в настоящее время развиваются как самостоятельные контрейлерные системы. Наиболее распространёнными вариантами контрейлерных систем, использующих горизонтальный метод погрузки и выгрузки ИТЕ, являются Rolling Road, Lohr, CargoBeamer и др. Данные системы конкурируют как между собой, так и с системами Lift-on/Lift-off, Lo-Lo, в которых применяется вертикальный метод перегрузки ИТЕ на железнодорожный подвижной состав [4].

Результаты анализа распространённости контрейлерных систем в мире и степени их использования в цепях поставок [5] позволяют утверждать, что эта интермодальная технология до сих пор находится на этапе формирования. Анализ параметров известных контрейлерных систем свидетельствует о разнообразии применяемых в них технических и технологических решений и отсутствии общих стандартов [6; 7]. Кроме того, каждая контрейлерная система, как правило, характеризуется определённой национальной принадлежностью и степенью распространения в мире. Следствием отмеченного разнообразия технических и технологических параметров контрейлерных систем являются ограничения при выборе ИТЕ и условий их перевозки, соответствующих требованиям конкретной контрейлерной системы. Это, в свою очередь, накладывает определённые

ограничения на номенклатуру перевозимых грузов. Таким образом, многообразие контрейлерных систем и наличие множества нестандартизированных параметров снижает мультипликативный эффект от интеграции и комбинированного использования различных видов транспорта в мультимодальных системах доставки, а также усложняет построение и функционирование цепей поставок с использованием контрейлерной технологии.

Особенно ярко данные ограничения проявляются при формировании глобальных цепей поставок, звенья которых располагаются в регионах, где используются разные контрейлерные системы. Возникает задача конфигурирования оптимальной сетевой структуры цепи поставок. Эта задача усложняется из-за применения различных контрейлерных систем в разных регионах (странах) и увеличения возможных вариантов формирования цепи поставок. Решая данную задачу, перевозчики, экспедиторы или логисты должны учитывать технические и технологические требования и ограничения разных контрейлерных систем для удовлетворения требований грузовладельцев по своевременной, сохранной и экологичной перевозке определённых грузов. Из-за разнообразия контрейлерных систем грузовладельцы вынуждены либо учитывать требования конкретной системы к параметрам ИТЕ, либо отказываться от необходимой для них интермодальной технологии [8]. Таким образом, определение критериев устойчивости контрейлерной системы на основе систематизации параметров существующих контрейлерных систем с целью формирования устойчивых цепей поставок является актуальной научной и практической задачей.

В настоящее время в русскоязычной научной литературе понятие «устойчивость», применительно к сложным системам используется для обозначения свойств таких систем, функционирующих в разных условиях. Традиционно под устойчивостью понимается способность системы сохранять свои ключевые функции в условиях неопределённости, сбоев и изменений [9; 10]. В англоязычной литературе такое свойство обозначается термином «*resilience*». Этот термин в большинстве случаев применим к техническим системам, для которых возможно с достаточной точностью как прогнозировать внешние воздействия, так и описывать закономерности их поведения в различных ситуациях. Однако цепи поставок функционируют в условиях значительно большей неопределённости



внешней экономической (рыночный фактор), природно-климатической (экологический фактор), социальной среды (геополитический фактор). Сложные системы в таких условиях должны не только сохранять свои ключевые функции, но и развиваться, обеспечивая необходимую устойчивость на перспективу. Устойчивость сложных систем, подвергающихся воздействию природной, социальной и экономической сред, в англоязычной научной литературе принято обозначать другим термином¹ – «*sustainability*». Данное свойство связано с концепцией устойчивого развития «*sustainable development*»², и наличие этого свойства является необходимым условием достижения целей этой концепции.

В настоящем исследовании под устойчивостью (*sustainability*) цепей поставок понимается их состояние, при котором достигаются цели устойчивого развития. Это обеспечивается путём формирования и поддержания баланса социальных, экологических и экономических показателей [11]. Такой подход, на наш взгляд, применим как к устойчивым (*sustainable supply chains*), «зелёным» (*green supply chains*), обратным (*reverse supply chains*), так и к цепям поставок замкнутого цикла (*closed loop supply chains*).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Систематизация параметров контрейлерных систем и определение критериев их устойчивости

Авторами работы использован *системный подход* для рассмотрения контрейлерной технологии как сложной системы, формируемой следующими структурными элементами: интермодальной транспортной единицей, железнодорожным подвижным составом и терминалом. Каждый из рассматриваемых элементов характеризуется комплексом параметров, определяющих технологию и организацию контрейлерных перевозок.

Систематизация и структурирование параметров элементов контрейлерной технологии проводилась посредством анализа семи наиболее распространённых контрейлерных систем, находящихся в стадиях разработки, тестирования и коммерческого использования: Lohr, CargoBeamer, CargoSpeed, Rolling Road, «Пространство 1520», Megaswing

и Flexiwaggon. Сбор данных для анализа выполнен на основе информации официальных сайтов компаний-производителей контрейлерных систем^{3,4,5,6,7}, сайтов компаний-производителей железнодорожного подвижного состава^{8,9,10,11}, нормативно-правовых документов^{12,13}, а также научной литературы [12–19]. Анализ параметров контрейлерных систем позволяет выполнить их деление на три группы:

- системы, представленные специализированными терминалами, основанными на модульном принципе создания терминальной инфраструктуры, использующие конструктивно сложный специализированный железнодорожный подвижной состав. К данной группе авторы относят системы Lohr, CargoBeamer и CargoSpeed;
- системы, располагаемые на железнодорожных станциях с отдельными грузовыми фронтами для операций с контрейлерами. В таких системах используются наименее сложные по конструкции железнодорожные вагоны (контрейлерные платформы). К системам данной группы относятся Rolling Road и «Пространство 1520»;
- системы, не требующие создания терминальной инфраструктуры и использующие

³ The Lohr. [Электронный ресурс]: <https://lohr.fr/>. Доступ 01.06.2023.

⁴ CargoBeamer. [Электронный ресурс]: <https://www.cargobeamer.com/>. Доступ 01.06.2023.

⁵ CARGOSPEED. [Электронный ресурс]: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20060727_143123_02411_CARGOSPEED_Final_Report.pdf. Доступ 01.06.2023.

⁶ SweMaint. [Электронный ресурс]: <https://www.swemaint.se/en>. Доступ 01.06.2023.

⁷ Flexiwaggon. [Электронный ресурс]: <https://www.flexiwaggon.se/>. Доступ 01.06.2023.

⁸ Вагон-платформа модели 13–9938. [Электронный ресурс]: <https://inni.info/produkt/gruzovyye-vagony-sleduyushchikh-tipov-vagon-platforma-vagon-platforma-modeli-13-9938>. Доступ 01.06.2023.

⁹ Вагон-платформа модели 13–5205. [Электронный ресурс]: <https://infomach.ru/vagon-platforma-modeli-13-5205>. Доступ 01.06.2023.

¹⁰ Вагон-платформа VR Sdgnqss-w. [Электронный ресурс]: http://xn--clakhbnbahv.xn--p1ai/?page_id=289. Доступ 01.06.2023.

¹¹ Для контрейлеров пригодна платформа модели 13–9961. [Электронный ресурс]: <http://xn-1520-u4d3ahgsb9pe.xn--p1ai/new/6593/>. Доступ 01.06.2023.

¹² Концепция организации контрейлерных перевозок на «пространстве 1520». – М.: Изд-во ОАО «РЖД», 2011. – 149 с.

¹³ Регламент по погрузке и креплению автопоездов, автомобилей, полуприцепов и прицепов, тягачей на специализированных платформах модели 13–9961. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=909>. Доступ 01.06.2023.

¹ ГОСТ Р ИСО 28002–2019 Системы менеджмента безопасности цепи поставок. Устойчивость цепи поставок. Требования и руководство по применению. – М.: Изд-во ФГУП Стандартинформ. 2020. – 53 с.

² ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005 Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – М.: Изд-во ФГУП Стандартинформ. 2006. – 57 с.

узкоспециализированные высокотехнологичные железнодорожные вагоны. Системами данной группы являются Megaswing и Flexiwaggon.

Анализ технических и технологических особенностей, а также теории и практики использования данных контрейлерных систем позволил сделать следующие предварительные выводы.

Во-первых, имеющиеся источники информации содержат противоречивые и разрозненные описания характеристик и параметров контрейлерных систем, что снижает достоверность данных и затрудняет оценку и выбор этих систем. Подробно описаны контрейлерные системы, имеющие в настоящее время наиболее широкое географическое распространение. Разработчики таких систем заинтересованы в их дальнейшем продвижении, привлечении новых клиентов и инвестиций, выходе на новые рынки. Наоборот, системы, находящиеся на ранних стадиях своего жизненного цикла, слабо представлены как в сети Интернет, так и в научных публикациях. Это снижает интерес к ним и препятствует их дальнейшему развитию.

Во-вторых, исследователи чаще всего ограничиваются анализом технических и технологических параметров контрейлерных систем. Практически отсутствует анализ социальных и экологических параметров, отражающих актуальные приоритеты транспортной политики развитых стран. Эти системы слабо представлены в рейтинге ESG (Environmental, Social, and Corporate Governance), оценивающем экологические, социальные и экономические сферы принятия ключевых бизнес-решений.

В-третьих, нам не удалось обнаружить исследования, в которых контрейлерная технология рассматривается как сложная техническая система и где используются современные методы и инструменты системного анализа. Результатом является либо одностороннее рассмотрение, либо некорректное сравнение количественных, качественных и субъективных параметров, характеризующих данную технологию.

Наконец, приводимые параметры контрейлерной технологии не учитывают интересы и стратегии различных участников транспортного и логистического процессов: грузовладельцев, поставщиков логистических услуг и владельцев транспортной инфраструктуры. При этом каждый из перечисленных стейкхолдеров руководствуется теми параметрами, которые он выделяет как приоритетные при выборе той или иной контрейлерной системы.

Перечисленные факторы, с одной стороны, затрудняют выбор контрейлерных систем, а с другой – определяют необходимость применения многокритериальных методов оценки систем, позволяющих учесть разнообразие как интересов стейкхолдеров, так и параметров этих систем.

Авторы предлагают руководствоваться следующими общими принципами определения критериев устойчивости контрейлерной системы:

- множество технических, технологических и экономических параметров элементов контрейлерной технологии рассматриваются в качестве подкритериев выбора системы и объединяются в группы критериев;
- разрозненные значения критериев представляются точными количественными значениями, а качественные значения критериев унифицированы путём представления их через распространённую и однозначно понимаемую шкалу рангов. Используется четырёхуровневое ранжирование качественных подкритериев через термины: «Очень высокий», «Высокий», «Средний», «Низкий».

К подкритериям технической группы отнесены наиболее значимые технические параметры, характеризующие контрейлерные системы с позиции транспортных и грузовых единиц, выполняющих функцию территориального перемещения грузов в цепях поставок. Подкритерии, вошедшие в данную группу, используются для оценки железнодорожного подвижного состава и автомобильных транспортных средств, выступающих в контрейлерной перевозке в качестве ИТЕ (табл. 1).

По мнению авторов работы, преобладающий интерес к подкритериям данной группы имеют два стейкхолдера: «Поставщик логистических услуг (провайдер)» – владелец подвижного состава, занимающийся формированием и управлением парка и «Владелец транспортной инфраструктуры» – определяющий параметры контрейлерного терминала в части их соответствия параметрам грузопотока и потока подвижного состава, проходящего через терминал.

Учитывая значительное количество технических параметров железнодорожного подвижного состава, авторы ограничились только одним подкритерием – «Полезная длина вагона», характеризующим вместимость вагона по отношению к перевозимому грузу – ИТЕ. Увеличение полезной длины грузовой площадки вагона повышает его провозную способность и универсальность, оказывая влияние на параметры ИТЕ.



Значения технических подкритериев устойчивости контрейлерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	CargoBeamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexiwaggon
Полезная длина вагона, м	27.4	14.2	16.3	18.2	20.3	29.4	17.3
Количество типов ИТЕ	5 (полуприцеп, тягач, грузовой автомобиль, съёмный кузов, контейнер)	4 (полуприцеп, прицеп, тягач, контейнер)	1 (полуприцеп)	3 (автопоезд, тягач, грузовой автомобиль)	7 (автопоезд, полуприцеп, прицеп, тягач, грузовой автомобиль, съёмный кузов, контейнер)	2 (полуприцеп, контейнер)	3 (автопоезд, грузовой автомобиль, контейнер)
Максимальная масса ИТЕ, т	38	37	38.5	38	44	38	52
Максимальная длина ИТЕ, м	13.7	14.2	13.6	20	20	14.7	17.3

Подкритерии «Количество типов ИТЕ» и «Максимальная масса ИТЕ» определяют функциональные возможности контрейлерных систем, формируя, прежде всего, для «Провайдера» многообразие вариантов перевозки ИТЕ (или наоборот ограничение вариантов), а также определяя величину грузовой партии.

В технологическую группу подкритериев объединены параметры, характеризующие контрейлерные системы с позиции организации погрузки и выгрузки ИТЕ на железнодорожные вагоны (табл. 2). По мнению авторов работы, преобладающий интерес к подкритериям данной группы должен формироваться у стейкхолдера «Поставщик логистических услуг», в функциональные обязанности которого входит организация перевозок на условиях «от двери до двери».

Подкритерий «Максимальная вместимость состава поезда» позволяет определять размер грузовой партии для полносоставного поезда и оценивать затраты на её накопление и транспортировку. Поскольку контрейлерные системы характеризуются разнообразием перевозимых типов ИТЕ, количественно данный подкритерий выражен через наиболее распространённый для контрейлерных перевозок тип ИТЕ – полуприцеп.

Подкритерий «Гибкость выполнения перегрузки ИТЕ вне терминала» оценивает возможности контрейлерной системы по количеству загружаемых и разгружаемых вагонов в составе поезда. Авторы считают, что наибольшую гибкость обеспечивают системы, позволяющие осуществлять перегрузку любого количества ИТЕ в железнодорожном составе, в том числе в местах, не требующих специального терминального оснащения. Системы, ориентированные на перегрузку

только всего состава на терминале, из-за технологических ограничений или экономической невыгодности перегрузки малого числа ИТЕ обладают меньшей гибкостью (мобильностью).

Подкритерий «Продолжительность погрузки/выгрузки состава максимальной длины» позволяет оценить уровень технологического совершенства конкретной контрейлерной системы, а также характеризует параллельность погрузки/выгрузки ИТЕ в вагоны. Количественные значения подкритерия указывают минимальное время погрузки и выгрузки полносоставного поезда на наиболее технически оснащённом терминале для каждой контрейлерной системы.

Подкритерий «Сложность маневрирования автомобильного тягача» определяет последовательность движений тягача при погрузке/выгрузке ИТЕ в вагон. В общем случае движение тягача может выполняться задним и передним ходом, но для различных контрейлерных систем формируется уникальная комбинация движения. Это определяет время перегрузки, её сложность, а также безопасность данной грузовой операции и допуск лиц, её осуществляющих. Авторы исходят из положения, что наиболее безопасным вариантом погрузки и выгрузки ИТЕ является движение тягача передним ходом, а наименее безопасным – задний/передний ходы.

Инфраструктурные подкритерии оценки сформированы параметрами, характеризующими контрейлерные системы с позиции условий создания и использования терминала, выполняющего функцию технологического взаимодействия задействованных в контрейлерной перевозке видов транспорта (табл. 3). Вошедшие в данную группу подкритерии имеют интерес для стейкхолдера «Владелец

Таблица 2

Значения технологических подкритериев устойчивости контрейлерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexi waggon
Максимальная вместимость поезда, (в полуприцепах)	48	36	30	40	48	44	22
Гибкость перегрузки ИТЕ вне терминала	Средний	Средний	Средний	Низкий	Низкий	Высокий	Очень высокий
Продолжительность погрузки/выгрузки состава, мин.	90	20	30	100	60	30	15
Сложность маневрирования автотягача	Очень высокий (Задним/передним ходом)	Средний (Передним/задним ходом)	Средний (Передним/задним ходом)	Низкий (Передним ходом)	Высокий (Задним/передним ходом)	Очень высокий (Задним/передним ходом)	Низкий (Передним ходом)

инфраструктуры», являющегося инвестором и решающим задачу выбора объекта инвестирования, а также стейкхолдера «Поставщик логистических услуг», моделирующего дизайн цепи поставок, выбор транспортной технологии и определяющего включение контрейлерной технологии как звена цепи.

Подкритерий «Адаптивность терминала» оценивает необходимость создания специализированного терминала, модульность его строительства и степень его технического совершенства. Авторы считают, что при составлении бизнес-планов и оценки проектных рисков инвестирования более предпочтительны системы, требующие меньшую величину капитальных затрат и допускающие стадийность создания и развития терминальной инфраструктуры.

Подкритерий «Необходимость точного позиционирования вагонов» определяет уровень конструкторской и технологической подготовки терминала и косвенно влияет на стоимость создания инфраструктуры.

Подкритерий «Распространённость контрейлерной системы» оценивает территориальное представительство контрейлерной системы. Для стейкхолдера «Владелец инфраструктуры» данный подкритерий формирует понимание, насколько та или иная система реализована и каков результат её функционирования. Для «Поставщик логистических услуг» этот подкритерий важен с позиции использования различных систем при дизайне глобальных цепей поставок, звенья которых располагаются в регионах с разными контрейлерными системами.

Подкритерии экономической группы сформированы параметрами, характеризующими контрейлерные системы с позиции капитальных и эксплуатационных затрат на

использование контрейлерной технологии (табл. 4). Преобладающий интерес к подкритериям данной группы, по мнению авторов, должен возникать у стейкхолдеров «Поставщик логистических услуг» и «Владелец инфраструктуры», поскольку в их задачи входит поиск финансовых источников формирования парка специализированного железнодорожного подвижного состава и сети контрейлерных терминалов.

Авторы выделили отдельно подкритерии «Инвестиции в строительство инфраструктуры терминала» и «Операционные расходы терминала», поскольку не всегда величина капитальных затрат находится в прямой зависимости с величиной затрат эксплуатационных.

Также для всех стейкхолдеров важным подкритерием данной группы является «Стоимость обслуживания ИТЕ на терминале», поскольку капитальные и эксплуатационные затраты системы будут формировать, в итоге, транспортную плату за перевозку ИТЕ и интерес к контрейлерной технологии.

В экологическую группу подкритериев отнесены параметры, характеризующие контрейлерные системы с позиции их воздействия на биосферу (табл. 5). Стейкхолдер «Владелец инфраструктуры» имеет повышенный интерес к подкритериям данной группы, поскольку на него государством и природоохранными организациями накладываются обязательства снижения загрязняющего воздействия транспорта на окружающую среду.

Подкритерий «Отчуждение земель» определяет объём территории, подпадающих под природоохранные требования и косвенно влияет на затраты по её приобретению и содержанию. Подкритерий «Материалоёмкость инфраструктуры» используется для оценки



Таблица 3

Значения инфраструктурных подкритериев устойчивости контрейлерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexi waggon
Адаптивность терминала	Средний	Средний	Средний	Низкий	Низкий	Высокий	Очень высокий
Необходимость позиционирования вагонов	Очень высокий (< 20–30 см)	Очень высокий (< 20–30 см)	Высокий (< 35 см)	Средний (< 1 м)	Средний (< 1 м)	Низкий (> 1 м)	Низкий (> 1 м)
Распространённость системы	Очень высокий	Высокий	Низкий	Очень высокий	Низкий	Средний	Средний

Таблица 4

Значения экономических подкритериев устойчивости контрейлерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexi waggon
Совокупные затраты на вагон	Очень высокий	Очень высокий	Средний	Средний	Низкий	Высокий	Высокий
Стоимость обслуживания ИТЕ на терминале	Очень высокий	Очень высокий	Высокий	Средний	Низкий	Средний	Низкий
Инвестиции в строительство терминала	Высокий	Высокий	Высокий	Низкий	Очень высокий	Средний	Низкий
Эксплуатационные расходы терминала	Высокий	Очень высокий	Высокий	Низкий	Средний	Низкий	Низкий

объёма материальных ресурсов, затрачиваемых на создание и эксплуатацию инфраструктуры контрейлерной системы. Авторы не стали объединять данные подкритерии. Не всегда масштаб отчуждаемых земель сопоставим с объёмом материалов на её обустройство. Имеются системы, которые при значительных площадях контрейлерных терминалов обладают достаточно малой материалоемкостью.

Авторы также полагают, что в интересы стейкхолдера «Владелец инфраструктуры» входит поиск контрейлерных систем, располагаемых на меньших по площади территориях, вплоть до полного отсутствия данной необходимости.

Подкритерий «Материалоемкость железнодорожного подвижного состава» характеризует величину материалов на создание и эксплуатацию подвижного состава в контрейлерной системе и является приоритетом для стейкхолдера «Поставщик логистических услуг». Материалоемкость подвижного состава значительно влияет на стоимость вагона и затраты на его эксплуатацию.

В подкритерии социальной группы включены параметры, характеризующие контрейлерные системы с позиции задействованных в них трудовых ресурсов (табл. 6). Авторы считают, что интерес к подкритериям данной группы будут иметь все стейкхолдеры контрейлерной технологии.

Для поставщиков логистических услуг подкритерий «Сопровождение ИТЕ» будет важным, поскольку определяет организацию трудовой деятельности, формирует режим труда и отдыха водителей автомобильных транспортных средств, влияет на потребности в кадрах. Для грузовладельцев данный подкритерий важен, поскольку позволяет оценить уровень качества транспортных услуг в части обеспечения сохранности и своевременности доставки груза. Наиболее предпочтительными являются контрейлерные системы, организующие сопровождаемые и несопровождаемые перевозки, а наименее предпочтительными – в которых сопровождение ИТЕ является обязательным условием.

Подкритерий «Механизация и автоматизация труда» характеризует контрейлерные системы с позиции их технологического совершенства и важен, прежде всего, владельцам инфраструктуры. Поскольку существует прямая связь между техническим уровнем производства и конечными результатами деятельности, то предпочтение будет у контрейлерных систем с высоким его уровнем.

Подкритерий «Безопасность эксплуатации системы» определяет состояние защищённости контрейлерной системы от внутренних угроз и распространяется на всех стейкхолдеров, поскольку они все заинтересованы

Таблица 5

Значения экологических подкритериев устойчивости контейнерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexi waggon
Отчуждение земель	Высокий	Высокий	Высокий	Средний	Очень высокий	Средний	Низкий
Материалоёмкость Инфраструктуры	Высокий	Высокий	Высокий	Низкий	Очень высокий	Средний	Низкий
Материалоёмкость железнодорожного подвижного состава	Высокий	Высокий	Средний	Средний	Низкий	Высокий	Очень высокий

Таблица 6

Значения социальных подкритериев устойчивости контейнерной системы
[составлено авторами]

Подкритерии	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«Пространство 1520»	Megaswing	Flexi waggon
Сопровождение ИТЕ	Низкий (Возможно)	Средний (Исключено)	Средний (Исключено)	Очень высокий (Обязательно)	Низкий (Возможно)	Средний (Исключено)	Высокий (Обязательно)
Механизация и автоматизация труда	Высокий	Высокий	Средний	Средний	Низкий	Высокий	Очень высокий
Безопасность эксплуатации системы	Высокий	Очень высокий	Средний	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий

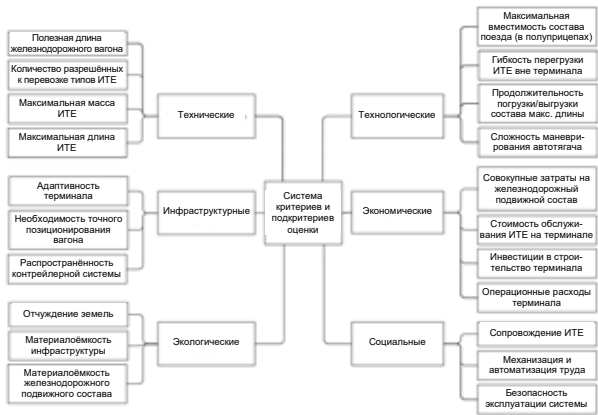


Рис. 1. Критерии и подкритерии устойчивости контейнерной системы [выполнено авторами].

в безопасности использования контейнерной технологии в цепях поставок.

Использование принципа иерархического отображения критериев и подкритериев при группировке критериев, а также учёт современной тенденции формирования транспортных систем и цепей поставок с позиции их устойчивого развития, обеспечивает разработку универсальной системы критериев устойчивости контейнерной системы в цепях поставок (рис. 1).

Представленные критерии формируют комплекс универсальных характеристик любой контейнерной системы, находящейся на этапе разработки, тестирования или коммерческой эксплуатации. Значения критериев могут быть использованы для индивидуаль-

ной оценки контейнерной системы при определении её устойчивости в цепях поставок. Критерии также позволяют проводить сравнения контейнерных систем с целью их ранжирования и выбора лучшей системы с использованием многокритериальных методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность использования контейнерной технологии в устойчивых цепях поставок не постоянна и зависит от характеристик определённой контейнерной системы. Разнообразие технико-технологических решений контейнерных систем также ограничивает их совместное использование при формировании сетевой структуры глобаль-



ных цепей поставок. Разработанная система критериев позволяет комплексно оценивать контейнерные системы при принятии решений об их использовании в цепях поставок, а также может быть использована при гармонизации технических и технологических параметров контейнерных систем.

Дальнейшими направлениями исследования являются разработка методологии многокритериальной оценки контейнерных систем, основанной на учёте как объективного мнения академических экспертов, так и мнения заинтересованных грузовладельцев, перевозчиков и владельцев инфраструктуры. Помимо этого, авторами ставится задача выделения и анализа целей, интересов и стратегий поведения участников контейнерной технологии перевозок для определения системы их эффективного взаимодействия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gronalt, M., Schultze, R.-C., Posset, M. Intermodal Transport – Basics, Structure, and Planning Approaches. In: Sustainable Transportation and Smart Logistics: Decision-making Models and Solutions. Amsterdam, Elsevier, 2019, pp. 123–149. DOI: 10.1016/B978-0-12-814242-4.00005-3.
2. Stinga (Cristea), V.-G. Intermodal Transport – A Way of Achieving Sustainable Development. Constanta Maritime University Annals, 2014, Vol. 22, Iss. 2, pp. 145–148. [Электронный ресурс]: <https://cmu-edu.eu/RePEc/cmc/annals/145-v22.pdf>. Доступ 24.06.2023.
3. Pinto, J. T. d. M., Mistage, O., Bilotta, P., Helters, E. Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation. Environmental Development, 2018, Vol. 25, pp. 100–110. DOI: 10.1016/j.envdev.2017.07.005.
4. Cong Li, Guang Yang, Xiaonian Sun. Transshipment Equipments for Road-Rail Intermodal Transport. Advanced Materials Research, 2015, Vol. 1065–1069, pp. 3377–3380. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1065-1069.3377.
5. Osintsev, N., Tsyganov, A., Rakhmangulov, A., Sladkowski, A. Multi-criteria Assessment of Piggyback Systems in Sustainable Supply Chains. In: Modern Trends and Research in Intermodal Transportation. Ed. A. Sladkowski. Cham, Springer International Publishing, 2022, Vol. 400, pp. 451–559. DOI: 10.1007/978-3-030-87120-8_10.
6. Gharehgozli, A., Vries, H. de, Decrauw, S. The role of standardisation in European intermodal transportation. Maritime Business Review, 2019, Vol. 4 (2), pp. 151–168. DOI: 10.1108/MABR-09-2018-0038.

7. Цыганов А. В., Осинцев Н. А. Система параметров подвижного состава интермодальной контейнерной технологии // Вестник СибАДИ. – 2020. – Т. 17. – № 2. – С. 262–272. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-2-262-272.

8. Rui Wang, Kai Yang, Lixing Yang, Ziyao Gao. Modeling and optimization of a road-rail intermodal transport system under uncertain information. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2018, Vol. 72, pp. 423–436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.04.022>.

9. Сергеев В. И., Кольчугин Д. М. Теоретические аспекты устойчивости цепей поставок. Логистика и управление цепями поставок. – 2015. – № 3 (68). – С. 54–66. EDN: UAUAVN.

10. Rahman, T., Paul S. K., Shukla N. [and etc.] Supply chain resilience initiatives and strategies: A systematic review. Computers & Industrial Engineering, 2022, Vol. 170, 108317. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108317.

11. Осинцев Н. А., Рахмангулов А. Н. Оценка устойчивости цепей поставок на основе серого реляционного анализа // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2023. – Т. 21. – № 3. – С. 180–196. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-180-196.

12. Троицкая Н. А., Чубуков А. Б., Шилимов М. В. Мультимодальные системы транспортировки и интермодальные технологии. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 336 с. ISBN 978-5-7695-4690-7.

13. Bontekoning, Y. M., Macharis, C, Trip, J. J. Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail-truck freight transport literature. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004, Vol. 38, Iss. 1, pp. 1–34. DOI: 10.1016/j.tra.2003.06.001.

14. Monios, J., Bergqvist, R. Intermodal Freight Transport & Logistics. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017, 274 p. ISBN: 978–1–4987–8512–9.

15. Pyza, D. Transport technologies in intermodal transport. Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny, 2019, Iss. 4, pp. 1–17. DOI: 10.35117/A_ENG_19_04_01.

16. Siroky, J. The trends of road trailers systems for railways. Perner's Contacts, 2012, Vol. 7, Iss. 4, pp. 137–151.

17. Колик А. В. Комбинированные железнодорожно-автомобильные перевозки в цепях поставок. – М.: Изд-во «Техполиграфцентр», 2018. – 301 с. ISBN 978-5-94385-143-8.

18. Федорина А. В., Цыганов А. В. Комплексный подход к внедрению контейнерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – Т. 5. – № 1. – С. 21–28. EDN: VPWEDJ.

19. Tadić, S., Krstić, M., Brnjac, N. Selection of efficient types of inland intermodal terminals. Journal of Transport Geography, 2019, Vol. 78, pp. 170–180. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.06.004. ●

Информация об авторах:

Цыганов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, tsyganov.alek@gmail.com.

Осинцев Никита Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия, osintsev@magtu.ru.

Рахмангулов Александр Нельевич – доктор технических наук, профессор кафедры логистики и управления транспортными системами Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия gan@magtu.ru.

Зенкин Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами Российского университета транспорта, Москва, Россия, zenkin1959@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 21.06.2023, одобрена после рецензирования 13.09.2023, принята к публикации 17.09.2023.



Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов путём определения незаполненного объёма полувагона методом стереофотограмметрии



Максим Игоревич Малышев

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

✉ dicorus@mail.ru.

Максим МАЛЫШЕВ

АННОТАЦИЯ

Процесс формирования комплексных транспортных систем предполагает не только кардинальное изменение масштаба решаемых задач, но и применение эффективных методов и инструментов.

Объектом исследования является процесс контроля сохранности груза, перевозимого в открытом железнодорожном вагоне. Предметом исследования является рельеф верхней поверхности груза и незаполненное пространство полувагона. Актуальность исследования обусловлена растущими объемами перевозки и существенными потерями сыпучих грузов в процессе транспортировки, развитием информационных технологий и возможностью создания доступного инструмента контроля сохранности перевозимых грузов.

Целью настоящего исследования является описание интеллектуального инструмента контроля сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах, и процесса его применения в режиме реального времени. В числе требований, предъявляемых к предложенному методу контроля, – передача функций оператора цифровому помощнику и минимизация необходимого для контроля оборудования. Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов предложено осуществлять путём обработки свёрточной нейронной сетью изображения полувагона с грузом, получаемого с камер фото-видеофиксации, а вычисление объёма незаполненного грузом пространства выполнять, используя методы фотограмметрии.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, контроль сохранности грузов, незаполненный объём полувагона, рельеф поверхности груза, свёрточная нейронная сеть, фотограмметрия, стереофотограмметрия, цифровизация железнодорожного транспорта, интеллектуальные транспортные системы.

Для цитирования: Малышев М. И. Контроль сохранности навалочных и насыпных грузов путём определения незаполненного объёма полувагона методом стереофотограмметрии // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-15>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный транспорт обеспечивает бесперебойную работу всех секторов экономики, осуществляя транспортировку добытых полезных ископаемых, средств и продукции промышленного и обрабатывающего производства.

Для перевозки машин и оборудования, сыпучих и штучных, длинномерных и громоздких, крупнокузовых и других, не требующих защиты от атмосферных осадков грузов, используются универсальные полувагоны или специализированные платформы открытой конфигурации.

По данным Росстата основными видами грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в 2021 году, являлись каменный уголь (371 668,57 тысяч тонн или 29 % от общего объема погрузки основных видов грузов), строительные грузы (126 674,9 тысяч тонн или 10 % от общего объема), руда железная и марганцевая (119 983,0 тысяч тонн или 9 % от общего объема), а также кокс, руды цветных металлов, лом черных металлов и лесные грузы¹.

В открытых вагонах могут быть перевезены песок, щебень, глинозём и другие виды навалочных и насыпных грузов, содержащих мелкие фракции. В процессе такой перевозки в силу влияния внешних факторов неизбежны потери грузов.

Именно насыпные промышленные грузы, перевозимые в открытых и закрытых вагонах, имеют наибольшую долю потерь по массе груза в процессе транспортировки [1].

Причинами потери сыпучих грузов во время транспортировки могут быть неплотные внутренние зазоры и другие дефекты кузова вагона, появившиеся в результате давления толщи груза после погрузки, вибрация в движении или износ и деформации вагона в процессе эксплуатации. К потере груза приводит нарушение условий транспортировки и хранения, выдувание частиц груза потоком воздуха (пылеунос), осыпание верхушки навала груза за пределы борта кузова и действия злоумышленников. Причиной потери грузов может быть и нарушение технологии производства, например, отправка до завершения изменения физико-химических свойств. В силу внешних условий и собственных свойств груза может иметь место его естественная убыль. В результате количество груза в вагоне в пункте доставки будет отличаться от количества груза при отправке.

¹ Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Министерство транспорта Российской Федерации. г. Москва. 2022 год.

Даже частичная утрата груза приводит к финансовым затратам и наступлению неблагоприятных последствий для всех лиц, заинтересованных в качественной перевозке. Грузополучатели сталкиваются с недополучением нужного объема необходимого товара. Грузоотправители, перевозчики и лица, ответственные за перевозку, могут получить претензии грузополучателей. Обнаружение потери грузополучателем при получении или уже при переработке груза может привести к сбоям в его бизнес-процессах [2]. Сложности определения места утраты груза и виновных организаций приводит к продолжительным спорам, потере доверия к грузоотправителям и снижению конкурентоспособности грузоперевозчиков на рынке.

Надёжность перевозки – одно из основных требований, предъявляемых к транспортным компаниям. Для снижения вероятности потери груза, своевременного обнаружения утраты и выявления узких мест цепи поставок предприятиям железнодорожного транспорта необходим современный инструмент контроля сохранности грузов, перевозимых в открытых вагонах. Контроль состояния грузов в процессе перевозки в режиме реального времени – эффективный процесс обеспечения надёжности перевозки.

В современных научных исследованиях в области управления перевозками и эксплуатации транспорта наблюдается устойчивая тенденция совершенствования процессов транспортировки путем применения цифровых инструментов и улучшения бизнес-процессов с помощью систем компьютерного зрения и искусственного интеллекта [2; 3].

Цель настоящего исследования заключается в описании интеллектуальной структуры контроля сохранности грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах, и процесса его применения в режиме реального времени. В результате применения программного обеспечения функции оператора по визуальному контролю грузов на железнодорожном транспорте должны быть переданы цифровому инструменту с добавлением новых возможностей, увеличением объема и улучшением качества контроля.

В связи с тем, что технологии, доступные по стоимости, не требующие сложного процесса внедрения на предприятии и дополнительных навыков персонала, обладают более высокой степенью диффузии и скоростью распространения, в процессе исследования должны быть решены задачи минимального использования различных видов оборудования и просто-

ты эксплуатации инструмента контроля сохранности грузов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основываясь на результатах и успешной апробации ранее выполненного исследования о выявлении повреждённых грузов и упаковки в процессе транспортировки и складирования с помощью свёрточной нейронной сети, было принято решение развивать технологию в приоритетных направлениях [2].

По результатам описания проблемы утраты навалочных и насыпных грузов в процессе перевозки в открытых железнодорожных вагонах были сделаны выводы об актуальности и поставлены цели исследования.

В результате анализа и систематизации существующих и перспективных методов контроля сохранности грузов в полувагонах выяснилось, что на данный момент не существует инструментов, отвечающих поставленным целям.

В процессе поиска инструментов и методов расчета неровной поверхности и мелких фракций некоего объекта выполнен анализ открытых источников информации, в том числе в российских и зарубежных реферативных базах данных ранее выполненных исследований, тематических изданиях, на сайтах технологических компаний, органов государственной власти и т. д. В результате выполненного поиска и анализа сделаны выводы, что цели исследования могут быть достигнуты в результате трансфера методов фотограмметрии.

Предложена экстраполяция стереофотограмметрии для формирования и расчета параметров рельефа верхней части груза в полувагоне.

Выполнено описательное и визуальное представление обработки изображения интеллектуальной компьютерно-программной информационной системой в процессе определения незаполненного объема полувагона методом фотограмметрии.

Основываясь на объективных данных научного прогноза, сделаны выводы о возможности применения предложенного метода для контроля сохранности навалочных и насыпных грузов в процессе перевозки.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Принципы обеспечения сохранности насыпных и навалочных грузов, перевозимых в открытых вагонах, отражены в соответствующих нормативных документах, предписывающих в целях исключения просыпания и выду-

вания очищать вагоны от остатков перевезенных ранее грузов и использовать исправные вагоны и разгрузочные люки [4]. Примером нормативного регулирования может быть Приказ Минтранса России от 14 января 2020 года N 9 «Об утверждении правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе»². Соблюдение норм и правил перевозки грузов в полувагонах позволяет исключить их утрату в процессе транспортировки свыше установленных норм.

Для обеспечения сохранности грузов, перевозимых в открытых вагонах, используют уплотнительные материалы для заделки дефектов кузова, в том числе футеровку вагонов [5]. Специальными инструментами и уплотнительным оборудованием разравнивают и статически уплотняют грузы в процессе погрузки. Укрывают грузы защитными материалами и связывают специальными пастами и пропитками. При необходимости выбирают для перевозки биг-бэги, контейнеры, используют вагонные вкладыши и другие приспособления, защищающие от утраты сыпучих грузов.

Контроль сохранности груза может осуществляться путём взвешивания загруженного подвижного состава на станции отправления и станции назначения [6]. При весовом контроле разница между массами отправленного и полученного груза, превышающая предел допустимого расхождения с учетом естественной убыли, указывает на утрату груза.

Разработаны и применяются автоматические системы коммерческого контроля на железнодорожном транспорте, позволяющие осуществлять осмотр рам, бортов, крыш, люков и контролировать считку вагонов, визуально идентифицировать, регистрировать с помощью видеоаппаратуры, распознавать инвентарные номера, контролировать уровень налива цистерн, габариты вагонов, заполненность жидкими и сыпучими грузами, выявлять неоднородность грузов (например, воду в продуктах нефтепереработки), осуществлять динамическое и статическое подколесное взвешивание вагонов и фиксировать прохождение поезда.

Автоматические системы включают расположенную на путях стальную несущую конструкцию для монтажа средств контроля, телевизионную и тепловизионную системы, электронные ворота с инфракрасными и опти-

² Приказ Министерства транспорта РФ от 14 января 2020 г. № 9 «Об утверждении Правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе».



ческими датчиками негабаритности, блок счёта вагонов и датчики счёта колес, тензометрический рельс, световую и звуковую сигнализацию, системы освещения для наблюдения в темное время суток, линии связи и устройства для передачи сигналов без помех в условиях электромагнитных излучений. Такие автоматические системы предполагают наличие оборудованного рабочего места оператора-наблюдателя.

Инфракрасные лучевые датчики формируют зону габаритности, пересечение которой (перекрытие луча) свидетельствует о превышении допустимого объёма загрузки подвижного состава [7].

Контроль равномерности и уровня загрузки вагонов жидкими и сыпучими грузами обеспечивается визуальным наблюдением оператора непосредственно за погрузкой или за видеопотоком, получаемым с видеокамер, установленных на раме электронных габаритных ворот.

Для дистанционного и бесконтактного контроля уровня налива цистерн и заполненности вагонов жидкими и сыпучими грузами используются тепловизионные комплексы [8]. На термографическом изображении оператором распознается сформированная разными цветами граница налива или насыпи груза и делаются выводы о фактическом заполнении вагона.

Расчёт массы груза по информации о фактическом уровне, полученной от тепловизионной камеры, осуществляется в ручном или автоматическом режиме исходя из калибровочных параметров кузова в соответствии с его инвентарным номером, а также плотности и температуре груза.

Инструмент, использующий бесконтактное лазерное (3D) сканирование, может быть применен для сканирования периметра, геометрии и верхней части кузова каждого вагона, выполняемого до отправки и по прибытию в пункт назначения, даёт возможность определять разницу в объеме груза в вагоне и выявлять факт утраты [9].

Работа большинства лазерных 3D-сканеров основана на принципе триангуляции, нахождения луча на поверхности объекта и измерении расстояния до него, либо измерении времени отклика луча от поверхности объекта. По облаку точек геометрических образцов, имеющих координаты в пространстве, строится 3D-модель.

С помощью промышленного 3D-сканирования формируется трехмерная модель кузова

с грузом в метрической системе координат. Полученный 3D-скан-профиль математически разбивается на элементарные объёмные кубы, объёмы которых определяются исходя из параметров кузова в соответствии с его инвентарным номером [10].

После расчёта объёмов простейших тел, все вычисленные объёмы суммируются. В результате по фактическим размерам формируется объёмная 3D-модель вагона. Разность цифровых двойников кузова в пунктах отправления и назначения, уже выраженная в единицах объёма, в случае превышения допустимых норм убыли будет указывать на утрату груза.

Перечисленные современные и перспективные инструменты контроля сохранности грузов предполагают установку дополнительного, необходимого для выполнения только этих задач, оборудования и привлечение персонала.

Использование дополнительного оборудования и материалов усложняет и удорожает транспортный процесс, при этом не исключая утрату грузов, например, из-за злого умысла третьих лиц. Контроль сохранности грузов с использованием автоматических систем коммерческого контроля также требует установку дорогостоящего оборудования непосредственно в месте контроля и привлечение оператора для осуществления непрерывного мониторинга в каждой контрольной точке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

К системам сканирования, нуждающимся в наименее затратном оборудовании, можно отнести системы, использующие пассивные сканеры, не имеющие собственного излучения, а обнаруживающие видимый свет, отражённый от окружающего пространства.

С довольно точным лазерным трёхмерным сканированием можно сравнить метод автоматических цифровых моделей, основанный на фотограмметрических инструментах [11].

Стереоскопические системы пассивного сканирования по фотометрической технологии предусматривают использование одной или двух 2D-камер, расположенных в разных местах и в одном направлении [12].

Создание трёхмерной модели и определение размера, формы, положения и других характеристик объектов осуществляется на основе фотографий, сделанных под разным углом, и выполняется с помощью фотограмметрии или стереофотограмметрии. Обработка изображения осуществляется с использованием специального программного обеспечения.

С целью получения видеоряда изображения в местах осуществления контроля сохранности грузов необходима установка видеокамер. В нейросеть загружается полученное из видеоряда визуальное 2D изображение реального мира (полувагона с грузом). Разрешение изображения определяется разрешением камеры. Для детализации объекта контроля разрешение изображения должно быть достаточным для распознавания границ кузова вагона, загрязнений вагона и контуров рельефа верхней части груза. Чем выше детализация изображения, тем выше точность расчета незаполненного объема полувагона за счет корректного распознавания деталей контура поверхности груза.

В результате фотограмметрического анализа полученных и загруженных в компьютерную программу цветных цифровых изображений открытого вагона с находящимся внутри грузом возможно получить метрические данные о форме, размере, расстояниях между элементами и других параметрах выбранного объекта (рис. 1).

В рамках настоящего исследования объектом, выбранным для получения метрических данных, является незаполненное грузом пространство в верхней части полувагона.

В нейронную сеть загружаются полученные с камер видеофиксации и разбитые на пиксели изображения. Для унификации входных данных перед загрузкой в нейронную сеть изображения могут быть преобразованы в 1D-массив фиксированного размера.

Используя алгоритм семантической сегментации, по уникальным признакам обнаруживается и выделяется из изображения полувагон с грузом и незаполненным пространством.

Для создания трёхмерной модели выбранного объекта необходимо загрузить фотографии, сделанные под разным углом. Чтобы снимки было возможно объединить, каждый следующий кадр должен пересекаться с предыдущим на 30 % [13].

На полученной модели по границам цветов (изменению яркости пикселей) рассеивается облако точек. Количество точек влияет на точность измерений. Максимальная точность достигается при максимальном количестве точек. По облаку точек осуществляется построение текстуры поверхности груза, состоящей из простых геометрических фигур.

Для вычисления объемов простых фигур необходимо сориентировать программу в метрической системе, обозначив маркеры точек. Для этого необходимо сопоставить точки

с метрической линейкой, по шкале которой будут рассчитываться все расстояния.

Объём незаполненного в полувагоне пространства определяется независимо от рельефа поверхности груза.

В качестве метрической линейки могут быть использованы борта кузова вагона, параметры которых известны из технических характеристик каждой модели вагона. Технические характеристики моделей вагонов включают объём кузова в кубических метрах и внутренние размеры в миллиметрах, в том числе высоту от пола до конца стенок, длину и ширину по полу.

Модель вагона зашифрована в уникальном восьмизначном инвентарном номере, нанесённом на боковой стенке и на хребтовой балке рамы. Для идентификации модели вагона интеллектуальную экспертную систему контроля сохранности грузов необходимо дополнить блоком с камерами видеофиксации номеров вагонов и совместимым инструментом автоматического распознавания и расшифровки бортовых номеров в движении.

Системы технического зрения позволяют распознать инвентарный номер вагона в движении [14].

Альтернативой использованию бортов кузова в качестве метрической линейки может быть установка в точках контроля измерительных линеек как дополнительного оборудования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Независимо от причины потери, объём и вес груза в вагоне уменьшается. При уменьшении объема сыпучего груза в вагоне в большинстве случаев груз проседает, и его уровень по отношению к верхним бортам кузова снижается. Пространство между поверхностью груза и плоскостью по верхней части бортов вагона (свободное пространство) увеличивается. Таким образом, увеличение свободного пространства может свидетельствовать о потере груза, а сопоставление объема свободного пространства в начале перевозки и объема свободного пространства в контрольной точке на выбранном этапе перевозки позволит зафиксировать факт потери и определить объем утраченного груза.

Использование изображений, полученных с камер фото- и видеофиксации, позволяет распознавать определенные объекты [3].

Методы фотограмметрии позволяют построить измеряемую модель загруженного полувагона [15].



В ночное время суток, при неблагоприятной погодной-климатической обстановке, и в других, сложных для получения четкого изображения условиях, а также при сокрытии в процессе транспортировки поверхности груза, например, снежным покровом, качество контроля сохранности грузов может значительно ухудшиться или вообще не представляться возможным.

Минимизировать влияние природных явлений и других внешних факторов на процесс получения достаточно четкого изображения и результат его обработки возможно с помощью дополнительных устройств, сооружений, технологий, обеспечивающих максимально равномерное освещение без жестких теней и бликов, выполнение съемки более высокого разрешения, защиту участка контроля от попадания осадков, а также и используя компьютерные программы, применяющие сверхразрешающий алгоритм распознавания изображения и сверточные нейронные сети.

Преимуществом использования метода обработки изображения с помощью сверточной нейронной сети и стереофотограмметрии является минимальное количество необходимого оборудования на железнодорожном пути, в основном видеорекамера, и отсутствие необходимости привлечения человека для обработки информации в процессе контроля сохранности грузов.

Предложенный метод позволяет увеличить вероятность обнаружения утраты груза в полувагоне до выдачи грузополучателю и автоматизировать рутинные операции за счет передачи функций выявления факта утраты от специалиста к интеллектуальному программно-компьютерному помощнику, основанному на распознавании утраты с помощью сверточной нейронной сети и стереофотограмметрии.

Использование предложенного метода решает проблему своевременного выявления, фотофиксации и оформления факта утраты насыпных и навалочных грузов. Решаются проблемы вовлечения сотрудников в процесс разбирательства, поиска ответственного, администрирования, потери времени и дополнительных затрат, снижения уровня клиентской удовлетворенности и накопительного отрицательного экономического эффекта. Данный метод может быть полезен средним и крупным предприятиям, осуществляющим перевозку и переработку грузовых потоков на железнодорожном транспорте.

Управление на транспорте всё больше переходит от эвристического к автоматизированному и интеллектуальному [16]. Интеллектуальная железная дорога представляет собой взаимосвязанную с цифровой экономикой сложную технико-технологическую систему [17].

В современных экономических условиях, ориентированных на технологическое преемство, и с учетом особенностей транспортной отрасли, нуждающейся в опережающем развитии, важным фактором является возможность диффузии и обслуживания внедряемых технологий [18].

Возможность реализации предложенного метода без установки дополнительного оборудования соответствует требованиям к инновационным технологиям на железнодорожном транспорте.

Дальнейшее развитие технологии контроля сохранности грузов в полувагонах с помощью стереофотограмметрии заключается в создании жизнеспособного продукта и реализации технологии в реальных условиях.

ВЫВОДЫ

Интеллектуализация контроля сохранности грузов и информационных процессов соответствует требованиям и является важнейшим направлением развития железнодорожного транспорта³ [19].

В результате настоящего исследования дано описание интеллектуальной компьютерно-программной структуры контроля сохранности насыпных и навалочных грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в открытых вагонах. Контроль сохранности грузов осуществляется в режиме реального времени с применением методов стереофотограмметрии. Функции визуального контроля переданы сверточной нейронной сети.

По результатам описания существующих методов контроля можно сделать вывод, что предложенный инструмент наиболее доступен по стоимости для транспортных компаний, не предполагает сложного процесса внедрения и не требует дополнительных навыков от персонала. Предложенный метод обладает более высокой степенью диффузии и скоростью распространения в транспортном производстве.

³ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (в ред. распоряжения Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р). – М.: Правительство РФ, 2021.

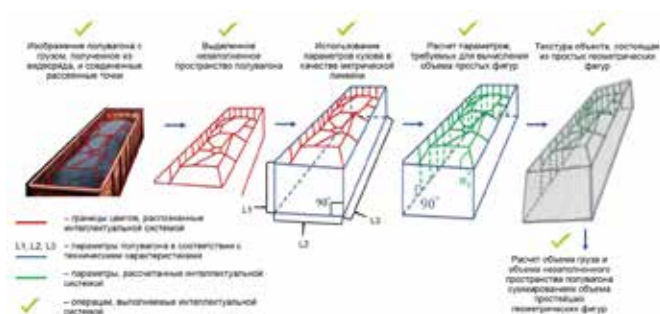


Рис 1. Обработка изображения интеллектуальной компьютерно-программной информационной системой в процессе определения незаполненного объема полувагона методом фотограмметрии [выполнено автором].

В процессе исследования решены задачи минимального использования различных видов оборудования и простоты эксплуатации инструмента контроля сохранности грузов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Смехов А. А., Малов А. Д., Островский А. М. и др. Грузоведение, сохранность и крепление грузов / Под ред. А. А. Смехова. – М.: Транспорт, 1989. – 247 с. ISBN 5-277-00365-7.
- Малышев М. И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 4 (101). – С. 61–72. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-4-5.
- Zhou Yun, Yilin Pei, Ziwei Li, Liang Fang, Yu Zhao, Weijian Yi. Vehicle weight identification system for spatiotemporal load distribution on bridges based on non-contact machine vision technology and deep learning algorithms. Measurement, 2020, Vol. 159, 107801. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107801.
- Баукин В. Г. Источники правового регулирования деятельности железнодорожного транспорта // Известия высших учебных заведений. Правоведение. – 2004. – № 2 (253). – С. 76–90. EDN: TKSREB.
- Чепурченко И. В., Носырев Д. Я., Коркина С. В. Использование теории оптимального проектирования для усовершенствования конструкции кузова глуходонного полувагона // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 3 (69). – С. 28–32. EDN: YASFVR.
- Pintão, B., Mosleh, A., Vale, C., Montenegro, P. A., Costa, P. A. Development and Validation of a Weigh-in-Motion Methodology for Railway Tracks. Sensors, 2022, Vol. 22, 1976. DOI: 10.3390/s22051976.
- Запускалов В. Г., Редькин В. И., Егиазарян А. В. [и др.] Патент № 2066282 C1 Российская Федерация, МПК B61K 9/02. устройство для контроля негабаритности груза подвижного состава: № 95113376/11: заявл. 28.07.1995: опубл. 10.09.1996 / заявитель Забайкальская железная дорога. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2066282C1_19960910. Доступ 04.09.2023.
- Бородин К. Роснефть внедряет тепловизионный мониторинг для увеличения загрузки цистерн с темными нефтепродуктами // Энергобюнос. – 2014. [Электронный ресурс]: <http://energo-news.ru/archives/120823>. Доступ 04.09.2023.
- Dhital, D., Lee, J. R. A fully non-contact ultrasonic propagation imaging system for closed surface crack evaluation. Experimental mechanics, 2012, Vol. 52, pp. 1111–1122. DOI: 10.1007/s11340-011-9567-z.
- Шилов И. Г. Система лазерного 3D измерения и расчёта объёма насыпного груза в периметре кузова самосвала LaseTVM // Золото и технологии. – 2017. – № 4 (38). – С. 56–57. EDN: YBMEDR.
- Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Negreiros, J. Off-the-shelf laser scanning and close-range digital photogrammetry for measuring agricultural soils microrelief. Biosystems engineering, 2009, Vol. 103, Iss. 4, pp. 504–517. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.02.010.
- Bernardini, F., Rushmeier, H. The 3D Model Acquisition Pipeline. Computer Graphics Forum. Oxford, UK: Blackwell Publishers Ltd, 2002, Vol. 21, Iss. 2, pp. 149–172. DOI: 10.1111/1467-8659.00574.
- Грушин С. П., Сосновский И. А. Фотограмметрия в археологии-методика и перспективы // Теория и практика археологических исследований. – 2018. – № 1 (21). – С. 99–105. EDN: YSDASI.
- Волотовский С. Г., Казанский Н. Л., Попов С. Б., Хмелев Р. В. Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 177–184. EDN: HYQGBZ.
- Михайлов А. П., Чибуничев А. Г. Фотограмметрия: Учебник / Под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М.: Изд-во МИИТаик, 2016. – 294 с. ISBN 978-5-91188-070-5.
- Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 6 (73). – С. 20–30. EDN: YTBSCN.
- Левин Б. А., Цветков В. Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3 (76). – С. 50–61. EDN: XHYKXJ.
- Малышев М. Управление распространением цифровых информационных технологий в транспортных системах // Логистика. – 2023. – № 1 (193). – С. 35–40. DOI: 10.54959/22197222_2023_01_35.
- Лапидус Б. М. О влиянии цифровизации и Индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2018. – № 1. – С. 1–8. EDN: YSLAKR. ●

Информация об авторе:

Малышев Максим Игорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, dicorus@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.07.2023, одобрена после рецензирования 23.09.2023, принята к публикации 27.09.2023.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 004.8:656.073.8:656

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-16>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 142–148

Роль и место Международного кодекса по охране судов и портовых средств в международно-правовом механизме обеспечения безопасности на морском транспорте

**Мария Сергеевна Куприянович***Институт законодательства и сравнительного правоведения
при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия.*✉ fran-masha@yandex.ru.

SPIN-код: 3368-6007.

Мария КУПРИЯНОВИЧ

АННОТАЦИЯ

Одной из мер, предпринятых Международной морской организацией в целях предотвращения террористических актов на море, стало принятие поправок к Международной конвенции по охране человеческой жизни на море, направленных на то, чтобы суда и их грузы не становились объектами террористической деятельности.

Дополнением к поправкам является Международный кодекс по охране судов и портовых средств, обзор которого представлен в данной статье. Кодекс описывает специальный механизм обеспечения безопасности в портах и на соответствующих объектах, а также устанавли-

вает взаимодействие между государственными органами, судоходной и портовой индустриями в выявлении угроз безопасности и предотвращении инцидентов, затрагивающих суда в портах или сами портовые сооружения. Документ содержит эффективные элементы предупреждения и сдерживания инцидентов против безопасности на море. В этом качестве Международный кодекс по охране судов и портовых средств, несомненно, оказал влияние на дальнейшее развитие международного права в области охраны, безопасности и эффективности международных морских перевозок.

Ключевые слова: водный транспорт, Конвенция СОЛАС-74, Кодекс ОСПС, международный морской транспорт, безопасность на море, уровни безопасности, декларация об охране.

Для цитирования: Куприянович М. С. Роль и место Международного кодекса по охране судов и портовых средств в международно-правовом механизме обеспечения безопасности на морском транспорте // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-16>.

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

ВВЕДЕНИЕ

После событий 11 сентября 2001 года на 22-й сессии Ассамблеи Международной морской организации (далее – ИМО) в ноябре 2001 года было принято единогласное решение о разработке новых мер по охране судов и портовых средств. В декабре 2002 года на Дипломатической конференции по охране на море был принят Международный кодекс по охране судов и портовых средств (далее – Кодекс; Кодекс ОСПС) одновременно с главой XI-2 Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (далее – СОЛАС-74; СОЛАС; Конвенция), которой он и вводился в силу с 1 июля 2004 года.

Кодекс ОСПС является самым передовым за последние десятилетия документом по безопасности на море и содержит наиболее всеобъемлющие положения, закрепляющие международные стандарты охраны и безопасности на море [1].

С момента вступления его в силу в июле 2004 года государства-участники обязаны устанавливать уровни безопасности на море в соответствии с положениями главы XI-2 СОЛАС-74 и части А Кодекса ОСПС [2, С. 34]. Обязанности государства флага обычно берёт на себя соответствующий компетентный орган каждого государства, который отвечает за проверку соответствия судов положениям главы XI-2 СОЛАС-74 и части А Кодекса ОСПС. Кроме того, соответствующий орган государства флага утверждает планы охраны судов и выдает международные сертификаты безопасности судов.

Целью статьи является подробный анализ положений Кодекса ОСПС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исторически сложилось, что портовая и судоходная отрасли всегда были подвержены высокому уровню преступности [3, с. 11–41]. Именно поэтому стоит отметить важность реализации положений Кодекса ОСПС о мерах безопасности, так как повышение её уровня в судоходной отрасли положительно влияет на состояние всей мировой экономики.

В ноябре 2001 года через два месяца после террористических актов 11 сентября, 22-я сессия Ассамблеи ИМО приняла резолюцию «Обзор мер и процедур по предотвращению террористических актов, угрожающих безопасности пассажиров и экипажей, а также судов». По результатам внеочередного совещания Комитета по безопасности на море ИМО (далее – КБМ), также состоявшегося в ноябре 2001 года, было принято решение о подготовке поправок в СОЛАС-74 в связи с распространением угрозы морского терроризма. Работа продолжалась в ходе Межсессионной рабочей

группы КБМ в феврале 2002 года, которая доложила о выводах совещания на 75-й сессии КБМ в мае 2002 года, когда была создана специальная рабочая группа КБМ для дальнейшей разработки предложений. В сентябре 2002 года состоялось совещание Межсессионной Рабочей группы КБМ, результаты которого были рассмотрены на 76-й сессии КБМ в декабре 2002 года непосредственно перед отправкой окончательного текста Кодекса ОСПС на Дипломатическую конференцию по безопасности на море, проводившуюся в Лондоне в том же месяце [4].

КБМ и связанная с ним Рабочая группа по безопасности на море возглавили разработку поправок к существующей главе XI СОЛАС-74. Эти поправки были приняты Ассамблеей ИМО и переименованы в главу XI-1 СОЛАС-74. На Конференции договаривающихся правительств Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года (Дипломатическая конференция по безопасности на море), проходившей с 9 по 13 декабря 2002 года, государства-члены ИМО приняли ряд резолюций и мер по внесению поправок в СОЛАС-74, которые были включены в новый Кодекс ОСПС¹.

В переговорах приняли участие 109 государств-участников Конвенции, а также представители многочисленных международных, межправительственных и неправительственных организаций. В то же время был разработан Кодекс ОСПС, включённый в качестве новой главы СОЛАС-74 XI-2, касающейся специальных мер по усилению охраны на море. Положения Кодекса ОСПС вступили в силу 1 июля 2004 года.

Новые меры безопасности создали основу для сотрудничества между правительствами и судоходной и портовой отраслями в целях сдерживания угроз безопасности, затрагивающих международную морскую торговлю, а также механизм реагирования на них [5]. Государства должны представлять в ИМО актуальную информацию о принятых мерах безопасности каждые пять лет. Главной целью Кодекса ОСПС является предотвращение потенциального использования судна в качестве оружия или средства транспортировки лиц, намеревающихся создать угрозу безопасности, а также для деятельности по финансированию терроризма. В Кодексе ОСПС определены соответствующие роли и обязанности участников международного морского транспортного сообщения, а также разработана методология оценки правительствами

¹ Резолюция 2 Конференции Договаривающихся правительств Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года (принята 12 декабря 2002 года). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/71516734/>. Доступ 08.09.2023.



и частным сектором степени угроз и реагирования на них [6, с. 378–385]. Соответствующие государственные органы, должностные лица судов и портовых средств, а также служащий персонал на берегу и в море играют неотъемлемую роль в обеспечении транспортной безопасности на море [7].

Кодекс ОСПС распространяет своё действие на суда, выполняющие международные рейсы (в том числе пассажирские суда, грузовые водоизмещением 500 тонн и выше, а также мобильные морские буровые установки), а также на портовые сооружения, обслуживающие такие суда². Ранее Конвенция СОЛАС-74 не применялась к портовым средствам, но государства-участники ИМО пришли к выводу, что включение в Конвенцию СОЛАС-74 главы XI-2, по смыслу касающейся положений Кодекса ОСПС, является наиболее оперативным методом внедрения новых требований безопасности. В соответствии с Кодексом ОСПС портовые сооружения и суда обязаны разрабатывать и соблюдать планы охраны судов, которые рассматриваются соответствующими государственными органами.

Национальное законодательство, как правило, устанавливает применимые к отрасли правила представления и утверждения планов охраны судна и портовых средств, а также внесения поправок в утвержденные планы. Могут быть определены специально уполномоченные органы управления государств флага, или назначены должностные лица, исполняющие от их имени обязанности по проверке портовых сооружений или судов для оценки соблюдения мер обеспечения охраны на море. Данные полномочия включают в себя осмотр портового средства или судна на предмет соответствия установленным требованиям, осуществление проверки технических средств охраны, документов, записей и планов, проведение собеседований с сотрудниками порта или судна, а также организация проведения учений по обеспечению безопасности портового средства или судна и их оценивание [8, с. 42–47].

Проверочные мероприятия могут также включать проверку документации: Заявления о соответствии портового средства или проверку Международного свидетельства об охране судна или Временного международного свидетельства об охране судна, а также любую другую деятельность

по оценке соответствия портового средства или судна мерам обеспечения охраны на море. Международное свидетельство об охране судна – это сертификат, выданный администрацией судна или от её имени и подтверждающий соответствие судна мерам обеспечения охраны на море, изложенным в главе XI-2 СОЛАС и Кодексе ОСПС [2, с. 68–80].

Российская Федерация является государством-участником СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС, которые нашли свое отражение в Федеральном законе «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»³ и в «Кодексе торгового мореплавания Российской Федерации»⁴. Министерство транспорта Российской Федерации осуществляет координацию деятельности Федеральной службы по надзору в сфере транспорта и Федерального агентства морского и речного транспорта (далее – Росморречфлот) по исполнению обязательств Российской Федерации, вытекающих из главы XI-2 СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС⁵. По данным Росморречфлота, регулярно осуществляются следующие мероприятия, направленные на усиление систем обеспечения транспортной безопасности (охраны) судов, плавающих под Государственным флагом Российской Федерации, и портовых терминалов, в рамках реализации требований Главы XI-2 СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС:

- на портовых средствах, расположенных на территории Российской Федерации и осуществляющих обработку судов под иностранным флагом, проведены оценки охраны, разработаны и утверждены планы охраны, по свидетельству ИМО;
- выдаются Международные свидетельства об охране судна и Временные международные свидетельства об охране судна;
- для проведения работ по оценке охраны, разработке планов охраны и оснащению судов и портовых средств инженерно-техническими средствами охраны в соответствии с требованиями

³ Федеральный закон «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 N 261-ФЗ. [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72390/. Доступ 08.09.2023.

⁴ «Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации» от 30.04.1999 N 81-ФЗ. [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/. Доступ 08.09.2023.

⁵ Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2007 г. N 746 «О реализации положений главы XI-2 Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года и Международного кодекса по охране судов и портовых средств». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/12156977/>. Доступ 08.09.2023.

² «Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года» (СОЛАС/SOLAS) (Заклучена в г. Лондоне 01.11.1974). – Глава XI-2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРЫ ПО УСИЛЕНИЮ ОХРАНЫ НА МОРЕ. [Электронный ресурс]: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/10/solas_1974.pdf. Доступ 08.09.2023.

приказа Минтранса России от 11.03.2008 № 42 определены уполномоченные организации в области охраны;

– в учебно-тренажёрных центрах ведётся подготовка специалистов в области охраны на объектах морского транспорта. Во всех судоходных и стивидорных компаниях имеются соответствующим образом обученные должностные лица, ответственные за охрану, на каждом судне – лица командного состава, ответственные за охрану, все члены экипажа имеют Свидетельства в соответствии с разделом А-VI/6 Международной конвенции о подготовке, дипломировании моряков и несении вахты 1978 г;

– ведётся работа по реализации планов охраны судов и портовых средств, которая включает в себя вопросы их оснащения инженерно-техническими средствами охраны;

– проводятся научные исследования, направленные на анализ и учёт рисков безопасности на транспорте в целом, учитывая угрозы безопасности, в том числе в связи с актами терроризма [9] и применением новых беспилотных технологий [10].

С октября 2008 года Росморречфлот совместно с командованием Военно-морского флота Российской Федерации исполняет функцию по организации и осуществлению безопасного прохода торговых судов через пиратопасные воды Аденского залива [11].

Таким образом, меры по обеспечению морской безопасности в первую очередь были приняты для сдерживания и противодействия террористическим угрозам на морском транспорте [12; 13].

Государства-участники СОЛАС-74 обязались адаптировать национальное законодательство для обеспечения безопасности судов и портов согласно Кодексу ОСПС⁶. Государства также имеют право по своему усмотрению распространять положения Кодекса ОСПС на иные суда и портовые сооружения, на которые данные меры не распространяются, в то же время государства-участники обязуются не принимать законодательство, которое применяет более низкие по сравнению с Кодексом ОСПС требования или стандарты к международным судам и портовым сооружениям.

Эффективность новых мер зависит от того, в какой степени эти положения будут повсеместно осуществляться и обеспечиваться. Например, Закон США о безопасности морских перевозок 2002 года (The Maritime Transportation Security Act of 2002 (MTSA)) и нормативные акты к нему были приве-

дены в соответствие со стандартами безопасности на море СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС. По окончании периода внедрения государствами изменений к СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС в национальное законодательство количество инцидентов, угрожающих безопасности морского транспорта, заметно сократилось. В том числе сократилось число преступлений, связанных с незаконным проникновением на охраняемые объекты, а также сократилось число смертей вследствие несчастных случаев на море.

Тем не менее, по целому ряду причин сохраняются пробелы в осуществлении и применении мер безопасности. Государства реализуют разные подходы к осуществлению принятых мер безопасности на море с учётом конкретных национальных конституционных и законодательных процедур (и это относится к безопасности на транспорте в целом [14–16]). Некоторые государства ещё не полностью осуществили эти меры. Как правило, государства интегрировали положения о мерах безопасности Кодекса ОСПС путем внесения поправок в существующее национальное законодательство о портах и судоходстве [17]. Однако в некоторых случаях необходимо принятие новых законов, что является серьёзной проблемой с финансовой точки зрения, так как обеспечение безопасности на море, охрана морской среды требуют больших государственных расходов.

Поскольку требования части А Кодекса ОСПС являются обязательными, внимание государств-участников сосредоточено на осуществлении данных правил. Часть В не является обязательной, однако многие правительства также включили положения части В в своё национальное законодательство [6, С. 383].

Из-за множества различных типов судов и портовых сооружений Кодекс ОСПС не конкретизирует отдельные меры, которые должны принимать каждый порт и судно. В нем излагается универсальная структура оценки рисков и реагирования на них. Новые меры безопасности для судов включают требования по ведению планов безопасности судов, введению должности офицера по охране судна, а также требования к определённому оборудованию, перевозимому на борту судна. Аналогично администрации портов обязаны разрабатывать планы обеспечения безопасности, назначать сотрудников службы безопасности и устанавливать определённое оборудование.

Глава XI-2 СОЛАС-74 содержит «специальные меры по повышению безопасности на море», которые включены в части А и В. Эти меры применяются к портовым сооружениям в пределах юрисдикции государства, включая зарубежные территории государства, к судам государства флага, подпа-

⁶ Guidance Relating to the Implementation of SOLAS Chapter XI-2 and the ISPS Code. – International Maritime Organization (IMO). [Электронный ресурс]: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MS-Circ.1111.pdf>. Доступ 08.09.2023.



дающим под действие СОЛАС-74, и судам, плавающим в его территориальном море [6, С. 385, 386]. Данные меры должны определять, какая организация в составе правительства обладает полномочиями по обеспечению безопасности портовых сооружений и судов, плавающих под её флагом.

Меры безопасности на море применяются к судам, подпадающим под действие СОЛАС-74, и портам, которые их обслуживают. Государства порта также могут распространить действие этих мер на портовые сооружения и суда, не охваченные СОЛАС-74. Однако Кодекс ОСПС не применяется к судам, обладающим суверенитетом, включая военные корабли, вспомогательные военно-морские силы или суда, принадлежащие государству или эксплуатируемые и используемые им в некоммерческих целях [2, с. 26–28].

Буксиры и другие портовые суда, морские суда снабжения и обеспечения, рыболовные суда и прогулочные суда, а также объекты, обслуживающие эти суда, также могут регулироваться данными мерами в соответствии с внутренним законодательством. Однако следует отметить, что меры безопасности не применяются к деятельности судов под иностранным флагом, действующих у берега прибрежного государства за пределами территориального моря. То есть эти меры не применяются в пределах исключительной экономической зоны государства (ИЭЗ) или континентального шельфа, даже несмотря на то, что СОЛАС-74 предполагает плавание судов в этих водах и работу с морскими установками, такими как морские буровые платформы и плавучие системы добычи нефти или другие суда, включая суда, не относящиеся к ведению СОЛАС-74. Следовательно, правительства могут разрабатывать двусторонние или многосторонние режимы безопасности, регулирующие взаимодействие в районах за пределами территориального моря. К примеру, государства могут договориться о том, что взаимодействие между «СОЛАС-судном» и морской установкой или «СОЛАС-судном» и «не СОЛАС-судном» подразумевает обмен декларацией об охране (Declaration of Security (DoS), далее – Декларация) или аналогичным документом [2, с. 30–32].

Декларация об охране – это соглашение между судном и портовым средством или другим судном, с которым оно взаимодействует, определяющее меры безопасности, которые каждая сторона соответственно обязуется предпринять в течение периода времени взаимодействия. В зависимости от риска взаимодействия между судами и портами правительства определяют необходимость оформления Декларации для судов, плавающих под их флагом, и портов, находящихся в их юрисдикции.

Все офицеры, сотрудники службы безопасности, экипаж судна и судовая команда должны пройти обучение по программе повышения осведомленности о безопасности. Различные правительственные учреждения, операторы и администрации портовых сооружений, а также отраслевые грузоотправители и перевозчики обязаны поддерживать осведомленность о безопасности в цепочке поставок [2, с. 110–112].

В штатном расписании судоходной компании должно быть предусмотрено по крайней мере одно должностное лицо компании, ответственное за охрану и по одному должностному лицу, ответственному за охрану каждого из её судов. Правительства также несут ответственность за установление уровня безопасности для своих портов и судов, плавающих под их флагом. Только государственные должностные лица могут устанавливать применимый уровень безопасности, а также утверждать оценки охраны портовых средств и планы обеспечения безопасности, определять портовые средства, для которых требуется назначение должностного лица, ответственного за охрану портового средства, осуществлять меры по соблюдению требований в соответствии с правилом 9 главы XI-2 Конвенции и определять требования к декларации об охране.

Принимаемые меры безопасности должны соответствовать определенному уровню угрозы. Кодекс предусматривает стандартную систему оценки угроз, которая позволяет государствам устанавливать или изменять уровни безопасности в зависимости от степени уязвимости судов и портовых средств. Факторы, которые следует учитывать при определении уровней безопасности, включают степень достоверности, обоснованности и конкретности информации об угрозе или степень неизбежности угрозы, а также потенциальные последствия такого происшествия [6, С. 387].

Компетентные государственные органы собирают и оценивают информацию о потенциальных угрозах портам и судам, плавающим под их флагом. На основе информации об угрозе администрации портовых сооружений и судов устанавливают уровень безопасности, который отражает степень угрозы и вероятность наступления происшествия, например, акта морского пиратства, терроризма или диверсии. Согласно Кодексу, различают три уровня безопасности:

- уровень безопасности 1 – обычный уровень, при котором суда и портовые средства эксплуатируются в обычном режиме, а также должны постоянно поддерживаться минимальные соответствующие меры по обеспечению безопасности, достаточные для противодействия большинству видов преступлений;

- уровень безопасности 2 – повышенный уровень, объявляемый на промежутки времени, в течение которого существует повышенный риск происшествия и должны поддерживаться соответствующие дополнительные меры по обеспечению безопасности;

- уровень безопасности 3 – исключительный уровень, объявляемый на промежутки времени, когда происшествие вероятно или неминуемо и при котором должны поддерживаться дальнейшие особые меры по обеспечению безопасности вплоть до приостановки деятельности [2, с. 112–116].

Правительства вправе устанавливать единый уровень безопасности для всех судов, зарегистрированных под их флагом, и всех их портов и портовых средств или дифференцировать уровни между судами и портами или между различными частями порта или портового сооружения. Аналогичным образом, правительства могут применять единый уровень безопасности на всей территории внутри границ территориального моря или устанавливать разные уровни безопасности в разных районах своего территориального моря.

Уполномоченные органы власти, в ведение которых входит обеспечение безопасности на море, осуществляют свою деятельность на национальном, региональном или муниципальном уровнях. Как правило, на национальном уровне осуществляется координация действий с различными структурами в целях разработки комплексных подходов к обеспечению безопасности на море, что является непростой задачей в условиях разрозненного межведомственного сообщения. В целях преодоления бюрократических барьеров государства создают специализированные ведомства или агентства, которые выполняют роль связующего звена для разработки и осуществления национальной политики безопасности на море. Такое ведомство, как правило, должно вести совместную с другими профильными министерствами и ведомствами работу над формированием концепции национальной безопасности, перечня угроз и уязвимостей, приоритетов национальной безопасности, разработкой инициатив по обеспечению безопасности на море на основе национальной стратегии, разработкой скоординированных позиций по международным договорам, решением юрисдикционных вопросов между ведомствами и реализацией политики на национальном уровне.

Практическое руководство Международной организации труда и Международной морской организации по безопасности в портах 2004 года предлагает каждому государству разработать свой документ о политике в области обеспечения безопасности портов [15]. Как представляется, в та-

ком документе будут определены масштабы и значение морской индустрии и инфраструктуры страны, определены ключевые морские угрозы, а также определены сферы ответственности и обязанности различных служб безопасности и правоохранительных органов, применение уровня национальной безопасности к портам и судам, отраслевые обязанности и разграничение полномочий правительства. Примером такого рода документа в Российской Федерации можно назвать «Морскую доктрину Российской Федерации»⁷.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Международный кодекс по охране судов и портовых средств представляет собой комплексную программу по повышению общего уровня безопасности на международном морском транспорте. В положениях Кодекса описаны методы, которые правительства государств могут применять для обеспечения безопасности судоходства при наличии определённой инфраструктуры для бесперебойного и безопасного морского транспортного сообщения. Кодекс также является вспомогательным документом, который «подсвечивает» уязвимые места транспортных систем государств, которые подвергают риску критические элементы системы безопасности. Обозначив уязвимые места, Кодекс ОСПС предлагает направление для разработки, утверждения и реализации соответствующих планов обеспечения безопасности, которые устраняют или ослабляют воздействие этих уязвимостей и способны предотвратить известные или предполагаемые угрозы.

При этом Кодекс ОСПС не должен рассматриваться как уникальный и абсолютный источник в области международной безопасности судов и портов [17], он должен рассматриваться как документ, содержащий ряд норм и оптимальных практик, которые предлагают правительствам государств или уполномоченным органам базис для разработки своих программ и национальных стратегий по обеспечению безопасности портов, предоставляя им возможность вносить изменения и дополнения по мере изменения условий или угроз с течением времени. Кодекс ОСПС следует рассматривать как динамичный документ, который будет адаптироваться к меняющейся действительности, деятельности и инфраструктуре портов и судов, а также к характеру угроз, которым они подвергаются.

Анализ содержания Международного кодекса по охране судов и портовых средств демонстриру-

⁷ Указ Президента Российской Федерации от 31.07.2022 № 512 «Об утверждении Морской доктрины Российской Федерации». [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207310001>. Доступ 08.09.2023.



ет как преимущества, так и недостатки, вытекающие как следствие применения данного документа. В первую очередь, Кодекс ОСПС направлен на повышение безопасности и защищенности судна и, следовательно, на минимизацию рисков, лучший контроль за грузопотоком, усовершенствование процедуры ведения документации, обеспечение безопасных условий труда, облегчающих работу моряков и портовых работников. С другой стороны, это влечет за собой дополнительную работу как для экипажа судов, так и для администрации портов, так как добавляются задачи, связанные с обеспечением безопасности, что негативно влияет на скорость выполнения работ. Также неизбежно увеличение эксплуатационных расходов судна при внедрении положений Кодекса в национальные акты законодательства, например, увеличение портовых расходов (большее время пребывания в порту при изменении/повышении уровня безопасности согласно пунктам 7, 8 части А Кодекса ОСПС).

В заключение стоит отметить, что возможно, Международный кодекс по охране судов и портовых средств и не смог полностью предотвратить и исключить инциденты, связанные с безопасным международным морским судоходством, однако, несомненно, создал прочную основу для обеспечения безопасности морских перевозок во всём мире. Описанные в Кодексе меры будут эффективны только в том случае, если все акторы морской судоходной отрасли будут внедрять и эффективно применять разработанные предписания и элементы, указанные в документе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mensah, T. A. The place of the ISPS Code in the legal international regime. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2004, Iss. 3, pp. 17–30. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03195047>.
2. Судовладельцам и капитанам: Серия: International ship and port facility security (ISPS) code / Пер.: Стрелков В. П. и др. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2003. – 279 с.
3. Frittelli, J. Port and maritime security: background and issues for congress. In: Vesky, J. Port and maritime security, 2008, New York, Nova Science Publishers, 70 p.
4. Куприянович М. С. Международный Кодекс по охране судов и портовых средств: анализ современных стандартов безопасности на морском транспорте // Государство и право России в современном мире: Сборник докладов. XXII Международная научно-практическая конференция Московского государственного юридического университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА). XXIII Международная научно-практическая конференция Юридического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова,

Москва, 23–25 ноября 2022 года. Часть 3. – Москва: Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина (МГЮА), 2023. – С. 355–358.

5. Холиков И. В., Милованович А., Наумов П. Ю. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход // Журнал российского права. – 2022. – Т. 26. – № 11. – С. 132–148. DOI: 10.12737/jrl.2022.122. – EDN ABBLLM.

6. Kraska, J., Pedrozo, R. *International maritime security law*. Brill / Nijhoff Publishers, 2013.

7. Klein, N. *Maritime security and the law of the sea*. Oxford, 2011.

8. Mejia, M. The ISPS Code, security culture, and the campaign against piracy and other crimes at sea. *BIMCO Bulletin*, 2009, Vol. 104, Iss. 4.

9. Zemlin, A., Pishchelko, A., Kharlamova, Yu. Problems of Realisation of Public Oversight in the Field of Transport Counterterrorism Policy. *Kutafin University Law Review*, 2020, Vol. 7, No. 1 (13), pp. 67–78. DOI: 10.17803/2313-5395.2020.1.13.067-078.

10. Землин А. И., Матвеева М. А., Гоц Е. В., Торшин А. А. Проблемные вопросы правового регулирования использования автомобилей с автоматизированной системой вождения. *Мир транспорта*. – 2022. – Т. 20. – № 4. – С. 117–122. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-11>.

11. Реализация положений главы XI-2 Конвенции СОЛАС-74 и Кодекса ОСПС // Федеральное агентство морского и речного транспорта. [Электронный ресурс]: https://morflot.gov.ru/deyatelnost/transportnaya_bezopasnost/solas_74/. Дата доступа 27.07.2023.

12. Холиков И. В. Противодействие преступным посягательствам на международную морскую безопасность // Преступность в XXI веке. Приоритетные направления противодействия / Институт государства и права РАН. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Юнити-Дана», 2020. – С. 431–459.

13. Холиков И. В., Окоца В. А. Применение вооруженной силы частными морскими охранными компаниями: динамика границ и специфика правового регулирования в современном мире // Журнал российского права. – 2020. – № 12. – С. 147–158. DOI: 10.12737/jrl.2020.154.

14. Холиков И. В. Актуальные вопросы правового обеспечения сил и средств обороны и безопасности России в условиях современных вызовов и угроз // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. – 2021. – № 12 (293). – С. 116–120. EDN: VBEXDG.

15. Кленов М. В., Холиков И. В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3 (82). – С. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.

16. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, Vol 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.

17. Security in ports. ILO and IMO code of practice. Geneva, International Labour Office/London, International Maritime Organization, 2004. ISBN 92-2-115286-3. ●

Информация об авторе:

Куприянович Мария Сергеевна – аспирант Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия, fran-masha@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 12.09.2023, одобрена после рецензирования 17.10.2023, принята к публикации 15.11.2023.



ГАЛЕРЕЯ ИМЕН:
С. Ю. ВИТТЕ

150

*140 лет назад увидел свет труд
С. Ю. Витте, посвящённый
железнодорожным тарифам. Эта
дата – повод вновь
проанализировать его историческое
наследие как с теоретической, так
и с практической точки зрения.*

КОЛЕСО ИСТОРИИ





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК (09):656.23:656.25

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-17>

С. Ю. Витте – создатель теории железнодорожных тарифов. Часть 1.

*Дмитрий Юрьевич Левин**Главный эксперт, АО «НИИАС», Москва, Россия.**✉ levindu@yandex.ru.*

ДМИТРИЙ ЛЕВИН

АННОТАЦИЯ

Ровно 140 лет назад вышла первая публикация самой известной, на наш взгляд, работы Сергея Витте «Принципы железнодорожных тарифов по перевозке грузов». Переоценить значение этой книги сложно. Наш постоянный автор, известный ученый, доктор технических наук, академик Российской Академии Естественных наук Дмитрий Левин решил поделиться своими мыслями после нового прочтения этой работы, которая до сих пор не утратила своей актуальности. Энциклопедические взгляды С. Ю. Витте могут представлять интерес, как для экономистов, так и для социологов, философов, науковедов, специалистов по теории государственного управления. Многие суждения С. Ю. Витте не утратили своего научно-теоретического и практического значения до сего дня и в этом смысле оказались пророческими.

Методология построения цен на перевозку грузов, изложенная С. Ю. Витте, представляет не только исторический интерес (особенно в купе с рецензиями и дискуссиями, сопровождавшими появление его книги), но сохраняет свое значение и для современного решения вновь вставших вопросов совершенствования тарифной системы в условиях перехода к рынку. Не в последнюю очередь она связана с кардинальным вопросом, вставшим уже тогда: должны ли быть железные дороги естественной монополией или коммерческой структурой, – споры, о чем продолжают и сегодня.

В этом номере публикуется первая часть статьи.

Ключевые слова: С. Ю. Витте, железная дорога, грузовые перевозки, железнодорожные тарифы.

Для цитирования: Левин Д. Ю. С. Ю. Витте – создатель теории железнодорожных тарифов. Часть 1 // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 150–154. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-17>.

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

С. Ю. Витте никогда не был профессиональным экономистом, хотя и обладал очень высоким уровнем начитанности и осведомлённости в экономической литературе. А постигал он экономическую науку главным образом на практике, служа на железной дороге, а затем возглавляя Министерство финансов.

Велика роль С. Ю. Витте в упорядочении тарифного дела, в котором он был выдающимся специалистом. Известный экономист, знаток железнодорожного дела А. И. Чупров считал разработки Витте по проблемам тарифов «образцовыми исследованиями», а его деятельность как на практике, так и в теории весьма успешной. Благодаря основательности исчислений проводимая им политика отличалась научной обоснованностью тарифных ставок.

После назначения С. Ю. Витте начальником эксплуатации Юго-Западных железных дорог и переездом в Киев от него стало зависеть обеспечение выгодных для общества условий перевозки грузов к портам и западной границе России. Падение цен на хлеб в начале 1880-х годов способствовало обострению конкуренции между железными дорогами – перевозчиками хлебных грузов. С. Ю. Витте занимался разрешением конфликтов и заключением соглашений с представителями дорожных конкурентов. С начальником тарифного отделения Общества Юго-Западных железных дорог А. Шабуневичем он разработал предложения о тарифах для 130 видов грузов.

В этот период и начинается публицистическая деятельность С. Ю. Витте. В журнале «Инженер» в 1883 году появляются его статьи, посвящённые тарифному делу, практически новому для страны. Вся русская тарифная литература исчерпывалась газетными статьями, написанными по разным частным случаям, и С. Ю. Витте решает систематизировать материалы своих статей в книге. Так в 1883 году появляются «Принципы железнодорожных тарифов по перевозке грузов». Первое издание книги привлекло огромное внимание специалистов и прессы и имело успех. Но книга вызвала критику и новые самостоятельные работы по тарифному делу, что побудило С. Ю. Витте уже в следующем, 1884 году подготовить второе издание. Книга была дополнена и расширена параграфами о школах в политической экономии и государственном регулировании экономики.

Данная работа примечательна тем, что в ней С. Ю. Витте показал себя не только специалистом в тарифном деле, но и экономистом с широким кругозором. В предисловии к первому изданию он подчёркивал, что теоретическая сторона тарифного дела вытекает «прямо из экономического закона спроса и предложения, представляет в своем дальнейшем развитии результаты, зависящие от взаимодействия элементов экономической, политической и даже умственной жизни народа. Эта игра влияний представляет собой в высшей степени интересный предмет для изучения мыслителя и экономиста».

Многолетняя эксплуатация железных дорог неизбежно привела С. Ю. Витте к изучению самого широкого круга теснейшим образом взаимосвязанных проблем, таких как соотношение частной и казенной эксплуатации железных дорог, взаимовлияние проводимой государством таможенной политики и торговли, сбалансированность темпов развития промышленности и сельского хозяйства.

Свою работу С. Ю. Витте начал с утверждения, что цена всякого предмета и всякой услуги определяется законом спроса и предложения, в том числе это относится и к определению размеров тарифов. На возможное возражение, что общий закон спроса и предложения не регулирует стоимость монопольных предприятий, он приводит большое число примеров конкуренции железных дорог с другими видами транспорта и между собой. И даже, если предположить, что железные дороги представляют собой полную монополию, то к ним все равно применим закон спроса и предложения.

Для доказательства приводится ссылка на Уставы русских железных дорог, в которых «обязывают не держать тарифы выше предельных норм», указанных в Уставе Главного Общества Российских дорог. В этом Уставе все товары разделены на три разряда, для каждого из которых приведены предельные нормы провозной платы с понижением за расстояние свыше 200 верст.

Витте доказывает ошибочность мнения о противоположности интересов железной дороги и пользователей. Интерес железной дороги действительно состоит в получении возможно высокой оплаты перевозки, но при этом важно, чтобы не уменьшался и объём перевозок. Точно так же неверно утверждение, что выгода пользователей заключается в полу-



чении даровой перевозки. Провозная плата по железной дороге – лишь одна из составляющих, определяющих рыночную стоимость товара, и поэтому, нет особой причины, чтобы она «уничтожилась преимущественно перед какими-либо другими». «Следовательно, интересы, разумной эксплуатации железной дороги в области тарифов, при действии лишь одного закона спроса и предложения, в большинстве случаев сливается с общественным интересом».

Отсюда вытекает следующий принцип: «Нужно, чтобы товар платил за перевозку всё то, что он может заплатить». Но это возможно, когда провозные платы будут приближаться к тем, которые вытекали бы из борьбы противоположных желаний отправителей и железных дорог. Т.е. когда провозные платы будут регулироваться на основании закона спроса и предложения. Это тарифное положение, по мнению С. Ю. Витте, является «самым капитальным в вопросе о железнодорожных тарифах».

Далее С. Ю. Витте утверждает, что железные дороги при установлении тарифов будут стремиться не к уменьшению отношения расходов к доходам, а к тому, чтобы получить наибольший чистый доход, т. е. к наибольшей разности между валовым доходом и расходами. А так как ни валовые доходы, ни расходы не зависят от основного капитала, затрачиваемого на ремонт и строительство дорог, то «капитал сооружения железной дороги не имеет никакого влияния на цену провоза, а, следовательно, и на тарифы».

Железная дорога, предоставленная свободному действию закона спроса и предложения, в силу собственного интереса должна стремиться к выручке наибольшего чистого дохода. Из этого С. Ю. Витте делает обратный вывод: «Что провозные цены, определённые свободным действием закона спроса и предложения, обеспечивают железным дорогам наибольший чистый доход. Эти провозные цены несколько не зависят от капитала сооружения железных дорог».

Обратим внимание на высказывание С. Ю. Витте, чем отличается торговля от продажи. В зависимости от продажи продавец получает выгоду не только от каждой проданной единицы товара, но и от числа проданных единиц. Если желания покупателя и продавца противоположны, то объединяет их коммерческий интерес. В умении находить приёмы

и комбинации, способные поощрять этот союз и расширять возможные результаты, и проявляется коммерческий разум. Отсюда С. Ю. Витте упростил тарифный принцип до формулы: «Железнодорожные тарифы должны устанавливаться на основании разумных коммерческих соображений».

Отвечая на вопрос, что вызывает передвижение товаров из одного места в другое, он выделил разность между ценами в местах отправления и назначения товаров. Если бы не существовало этих разностей, то не вызывалась бы и потребность в передвижении. Отсюда, провозные цены должны соответствовать этим разностям, т. е. подчиняться ценам, существующим на этот товар в пунктах отправления и назначения его.

Ценность товара имеет отношение к его потребности, т. е. увеличение спроса дешёвых товаров может произойти скорее и легче, нежели дорогих товаров. На этом основании более ценные товары перевозятся дорожке, чем менее ценные.

Кроме способности распространения потребления товаров, железная дорога при установлении тарифов должна иметь в виду своих конкурентов. И тут закон спроса и предложения оказывает влияние на железнодорожные тарифы. Отсюда необходимость изучать условия передвижения товаров по конкурирующим путям.

Так как все тарифные комбинации железных дорог должны способствовать увеличению чистого дохода, то железная дорога при установлении тарифов должна принимать во внимание расходы, вызываемые движением товара, которые определяют предел возможных тарифных понижений. Расходы перевозки зависят от расстояния перевозки товара, его веса, затрат и условий выполнения перевозки.

Для практического подтверждения сделанных теоретических выводов С. Ю. Витте привел конкретные примеры установленных тарифов на Юго-Западных железных дорогах.

В 1880 году поступили ходатайство Одесского фабриканта и просьба Брестских мылопромышленников о понижении тарифа на мыло, которые первоначально были отклонены. Но изучение статистики движения мыла по Юго-Западным железным дорогам показало, что оно очень редко отправляется повагонными отправлениями и применение повагонного тарифа не достигает цели, т. к. составляет менее 1 % общего числа. Мылом торгуют

мелкие торговцы, которые не могут перевозить его целыми вагонами. Понижение повагонного тарифа до попутного повлияло на производство мыла и обеспечило существенное увеличение объема перевозки мыла и выручки дороги.

Когда в 1878 году образовалось Общество Юго-Западных железных дорог, свекла почти не перевозилась. Причины: сахарозаводчики разводили свекловичные плантации вблизи заводов и доставляли свеклу на подводах, малоценность товара делала чувствительным даже незначительный расход и не допускала перевозки этого груза на более значительные расстояния, т. е. высокий тариф не соответствовал условиям производства и потребления. В 1879 году установили рефакционный (пониженный) тариф. Уже в 1880 году начали перевозить несколько сот тысяч пудов свеклы в год. Еще понизили тариф, и в 1881 году перевозка свеклы достигла почти двух миллионов пудов. Наглядно видно, как с понижением тарифа увеличилась перевозка одной только свеклы, не говоря уже о другой более серьезной пользе – увеличении вследствие этого перевозки сахара. Снижение расходов на приобретение свеклы дало возможность заводам увеличить свое производство. Увеличение производства сахара увеличило прибыль сахарозаводчиков и доходность железной дороги, так как сахар перевозится по железной дороге по более высокому тарифу.

По общей номенклатуре товаров всех русских железных дорог, утвержденной Министерством путей сообщения, существовал общий тариф во внутреннем и прямом сообщении для виноградного вина в бочках. По Юго-Западным железным дорогам в 1881 году было перевезено 695 102 пуда вина в бочках, в том числе со станций Бессарабской ветви (Раздельная – Унгены) 68,4 %, из Одессы 14,6 % и остальных станций дороги 17 %.

Плохое качество бессарабского вина объясняло его низкую стоимость. В Бессарабии выделялось от двух до шести млн ведер вина, которое частью оставалось для местного потребления, частью еще в виде суслу скупалось торговцами и, после окончательной выдержки и обработки, поступало в продажу. Ускоренный сбыт виноделами вина в виде суслу, кроме финансовых причин, объяснялось отсутствием подходящих погребов, дороговизной бочек. За порожнюю бочку предлагали количество вина, равное емкости бочки. Ста-

рые бочки из-под вина ценились ещё дороже.

Бессарабское вино кроме рынков Бессарабии почти не встречалось. Вот почему перевозка бессарабского вина происходила на малые расстояния. В то же время бессарабское вино представляло наиболее важную статью перевозки по Юго-Западным железным дорогам по сравнению с другими винами.

Для увеличения вывоза бессарабского вина в 1880 году был установлен пониженный тариф. После этого по данным земских и статистических учреждений Бессарабии в следующие три года посажено 32 млн виноградных кустов и производство вина увеличилось на 58 %. Количество бессарабского вина, перевезенного по Юго-Западным железным дорогам на расстояния свыше 300 верст, на которые было сделано понижение тарифа, увеличилось. По мнению С. Ю. Витте еще большего увеличения перевозки вина на дальние расстояния можно достигнуть увеличением тарифа на малые расстояния.

Гибкая тарифная политика оказалась очень действенным инструментом в конкурентной борьбе. Например, тарифы на донецкий уголь, введенные на дорогах Юго-Западного общества, привели к росту его потребления в крае. Дешёвый английский каменный уголь, доставлявшийся в Одессу в качестве балласта на пароходах, перевозивших пшеницу, перестал продаваться на юге России.

Витте задался вопросом, почему тарифы не могут быть равны провозным ценам? В ответе на кажущееся противоречие он указал, что по железным дорогам перевозятся тысячи различных товаров между тысячами станций. Цена провоза каждого товара между двумя станциями ежедневно может колебаться, что не позволяет всегда соблюдать соответствие тарифов ценам провоза.

Кроме этого, предоставляемые железными дорогами тарифы в известной степени ограничивают свободу действий пользователей, но придают устойчивость коммерческим сделкам, систематизируют ведение хозяйства. Необходимость тарифов для железных дорог общего пользования обуславливается не только собственными выгодами как предприятий коммерческих, но еще вытекает из характера их как учреждений, имеющих государственную и общественную важность. Одинаковые условия пользования услугами железных дорог для всех потребителей достигается опубликованием тарифов, чего в то время еще не было.



В этом случае тарифы не могут выражать цену, которые ежедневно колеблются под влиянием спроса и предложения. Но, тем не менее, тарифы должны представлять собой ставки, соответствующие складывающимся ценам в каждый период времени. Для этого они должны регулироваться по этим ценам.

Исходя из большого опыта работы, С. Ю. Витте утверждает, что тариф должен зависеть от веса, объема и расстояния перевозки отправки. Критике подвергается взимание провозной цены в Америке большей частью на основании особых соглашений, чем, по мнению С. Ю. Витте, в корне подрывается равноправность отправителей и общегосударственная полезность железных дорог. При такой системе не может быть обязательного регулирования тарифов не только, например, по расстоянию, но даже по благоразумным коммерческим началам, если эти начала не согласованы с личной выгодой некоторых предпринимателей.

В Англии тарифы не только не зависят от расстояния, но принято, что цена между двумя промежуточными станциями может быть выше, чем между крайними станциями на той же линии. Цены английских тарифов исходят из постанционных ставок, которые устанавливаются на основании чисто коммерческих соображений.

Тарифы французских дорог также не зависят от расстояния. Для тарификации принимают условные расстояния, определенные по усмотрению самих железных дорог. Много тарифов французских и английских дорог состоит из таблиц, указывающих для данного товара провозную цену между каждыми двумя станциями отдельно.

В тарифах итальянских и австрийских дорог также не существует неизменного соответствия между расстояниями и провозными ценами.

В Германии в то время был принят тарифный закон, но германское правительство допустило так много исключений, что нарушило неподвижность и единообразие тарифов во всей империи.

В России указывал С. Ю. Витте: «... сеть русских дорог еще недостаточно распростра-

нена..., когда железные пути в России разовьются в соответствующем количестве и распространятся во всех окраинах» необходимость регулировать провозные цены расстояниями отпадет.

Несоизмеримость территорий России и европейских стран объясняет, почему на Западе нецелесообразно определять провозные цены по расстояниям. Русские тарифы на дальние расстояния не должны руководствоваться установившимися европейскими нормами. В то же время С. Ю. Витте считал, что дифференцированные тарифы, которые по раз определенным формулам понижаются вместе с увеличением расстояния перевозки, не решают вопроса. В доказательство этого приведены примеры: «... довольно ограниченный район распространения русского угля за пределы угольных бассейнов; почти полное отсутствие перевозки сена на значительные расстояния, несмотря на ежегодно повторяющийся падеж скота от недостатка корма; довольно трудное распространение соли на дальние расстояния, несмотря на уничтожение акциза».

С. Ю. Витте отмечал, «что между рыночной ценностью провоза, с одной стороны, и весом, равно объемом товара – с другой стороны, не может существовать какого-либо определенного отношения, а потому вес и объем, служа для выражения тарифов, не могут по существу служить для их регулирования».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Витте Сергей Юльевич. Принципы железнодорожных тарифов по перевозке грузов. – Киев, Тип. И. Н. Кушнерева и КО, 1883. – 294 с.
2. Витте С. Ю. Воспоминания. – М.: Издательство социально-экономической литературы, 1960. – Т. 1–3.
3. Витте С. Ю. Конспект лекций о народном и государственном хозяйстве, читанных его императорскому высочеству великому князю Михаилу Александровичу в 1900–1902 гг. – СПб.: Тип. АО Брокгауз-Ефрон, 1912. – XV, 568 с.
4. Витте С. Ю. По поводу мнения Leon Say о железнодорожных тарифах // Инженер. – Киев. – Выходит с 1882 г. – 1883. – № 1–12. – С. 9–13.
5. Русские порты и железнодорожные тарифы: Прил. Речь кн. Бисмарка по поводу либавского порта, сказанная им в 49 заседании Рейхстага, 14 февраля 1885 года. – Киев: тип. С. В. Кульженко, ценз. 1886. – 20, III с.; 28.
6. Витте С. Ю. Собрание сочинений и документальных материалов: В 5 т. / Редакт.: Л. И. Абалкин (пред.) и др. – М.: Наука, 2002–2007. ISBN 5-02-008394-1. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, главный эксперт, АО «НИИАС», Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступил в редакцию 19.04.2023, одобрена после рецензирования 02.06.2023, принята к публикации 05.06.2023.



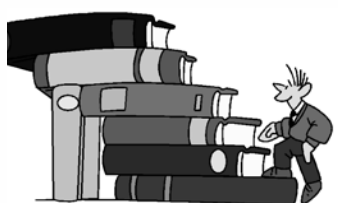
РЕЦЕНЗИЯ

156

Сезонная неравномерность перевозок.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

159

- Взаимодействие колёс грузового вагона и рельсов.
- Повышение энергетической эффективности автономных локомотивов.
- Замещение части дизельного топлива водородом на тепловозах.
- Оценка несущей способности жёстких аэродромных покрытий.

НОВЫЕ КНИГИ

162

Новые учебники и монографии, вышедшие в российских книжных издательствах.





Лекарство от «головной боли» железнодорожников (рецензия на монографию «Экономическая оценка сезонной неравномерности перевозок»)



Ирина Алексеевна Чернигина

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ cirina123@yandex.ru.

Ирина ЧЕРНИГИНА

АННОТАЦИЯ

Мачерет Д. А., Разуваев А. Д., Ледней А. Ю. Экономическая оценка сезонной неравномерности перевозок: Монография. – М.: Прометей, 2022. – 142 с. ISBN: 978–5–00172–334–9.

В монографии представлены результаты исследования сезонной неравномерности перевозок – одной из фундаментальных экономических проблем транспортной отрасли. С использованием усовершенствованного мето-

дического инструментария оценки сезонной неравномерности проанализированы перевозки по видам транспорта. Раскрыт научно-обоснованный подход к определению влияния сезонной неравномерности перевозок на экономическую эффективность использования и развития транспортной инфраструктуры. Сфокусировано внимание на оценке ценности транспортной инфраструктуры и экономической эффективности её развития с учётом неравномерности перевозок.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, транспортная инфраструктура, сезонная неравномерность перевозок, грузовые перевозки, пассажирские перевозки.

Для цитирования: Чернигина И. А. Лекарство от «головной боли» железнодорожников (рецензия на монографию «Экономическая оценка сезонной неравномерности перевозок») // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 5 (108). С. 156–158. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-18>.

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

Неравномерность перевозок, будь они грузовыми или пассажирскими, всегда была «головной болью» транспортников, давно называемой неизбежным злом и вызывающей беспомощное разведение руками.

Действительно, что ещё так «напрягает» хозяйственника, как необходимость содержать резервные ресурсы для потенциального роста объёмов производства? Издержками чреват как чрезмерный запас, так и его недостаток. Железнодорожники – не исключение, особенно если учесть стоимость той инфраструктуры, которую они используют.

Попытки бороться с неравномерностью, конечно, были – и административные и организационно-технологические, и экономические, но смягчить её величество «Неравномерность» не удавалось.

В представленной монографии сделана блестящая попытка – сначала разобраться с этим явлением, изучить его со всех сторон, а уже затем использовать результаты исследования в практической деятельности.

Сразу оговоримся, видов неравномерности множество, она проявляется и в грузовом движении, и в пассажирском, и во времени, и по направлениям, но предметом исследования стал один, наиболее весомый вид неравномерности перевозок – сезонная. В ней, как в капле из океана, авторы попытались определить основные характеристики и масштабы проблемы.

Исследование начинается «от печки» – внимательно рассматриваются использовавшиеся десятилетиями (если не столетиями!) коэффициенты неравномерности. Казалось бы, что тут неясного. Присмотревшись внимательно к этим самым коэффициентам, можно обнаружить, что до сих пор они рассчитывались приблизительно, что в сегодняшнюю эпоху всеобщей цифровизации даже и вообразить не представляется возможным. Самое интересное, применение уточнённых методов расчёта неравномерности привело к абсолютно другим выводам о максимумах объёмов перевозок.

Любителям макроэкономики будет интересна также выполненная оценка зависимости эксплуатационных расходов от уровня загрузки железнодорожной инфраструктуры по сезонам, которая подтверждает действие фундаментального экономического закона убывающей отдачи.

В этом же ряду – убедительное доказательство ускоряющегося роста эксплуатационных затрат (и, соответственно, себестоимости перевозок) при повышении уровня загрузки инфраструктуры в сезон максимальных объёмов перевозок, а, следовательно, и ухудшение качества использования подвижного состава по времени, прежде всего – снижение скоростей движения поездов. Приятно, когда всё, что раньше считалось очевидным и объяснялось «на пальцах», обретает фундамент математически доказанной теоремы.

В результате исследований авторам удалось построить универсальную модель влияния сезонной неравномерности загрузки железнодорожной инфраструктуры на эффективность её использования и развития. Применение этой модели позволяет оценить как эффективность использования инфраструктуры в реальных условиях, так и, что ещё важнее, обеспечить обоснованное планирование инвестиций в её развитие на перспективу.

Показательный расчёт влияния сезонной неравномерности перевозок на экономические показатели реализации Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года свидетельствует о высокой эластичности эффективности инвестиций в развитие железнодорожного транспорта по неравномерности загрузки инфраструктуры. (При изменении уровня неравномерности на 1 п. п. общий эффект от инвестиций изменяется на величину от 5,5 до 7,2 %, а рентабельность капитальных вложений – от 1,95 до 2,2 п. п. в зависимости от сценария изменения неравномерности загрузки инфраструктуры). Это важный и вполне конкретный результат.

Особенно отрадно то, что модель – универсальна. Ничто не мешает использовать её на всех остальных видах транспорта. Благодаря представленным зависимостям показателей оценки эффективности от сезонной неравномерности загрузки инфраструктуры возникает возможность выработки вариантов снижения расходов на осуществление транспортной деятельности и оптимизации инфраструктурных мощностей.

Как пробный камень теории – анализ неравномерности перевозок в период пандемии коронавируса. Это можно назвать изюминкой в исследовании, подтверждающей его универсальность.

Вот Вам и таблетка от давнишней «головной боли» транспортников – неравно-





мерности перевозок. Рецепт применения прост:

1. Более точно проанализировать сезонную неравномерность загрузки транспортной инфраструктуры с выявлением основных факторов, влияющих на показатели неравномерности, и определением минимального достижимого (или предельно допустимого) уровня сезонной неравномерности.

2. На этой базе спрогнозировать сезонную неравномерность на перспективу и выработать мероприятия по её снижению (недопущению превышения предельного уровня).

3. С использованием разработанной модели оценить влияние сезонной неравномерности перевозок на экономические результаты как текущей, так и инвестиционной деятельности железнодорожного транспорта.

На этом авторы вполне могли бы остановиться и ожидать заслуженных аплодисментов, но...

Научная работа тем и отличается от практических рекомендаций, что в ней всегда есть заделы для будущих исследований. В лучших традициях академической науки монография развивает философские вопросы определения «ценности» транспортной инфраструктуры и блестяще доказывает, что она никаким образом не может сводиться к оценке её стоимости. Здесь же предложен (может и не бесспорный) методический инструментарий оценки ценно-

сти железнодорожной инфраструктуры и её использования для определения эффективности инфраструктурного развития.

Представленный метод оценки ценности транспортной инфраструктуры на основе эффектов, формируемых за счет реализации грузовых перевозок как для перевозчика – владельца инфраструктуры, так и для товаровладельцев, позволяет существенно уточнить экономическую оценку инфраструктуры по сравнению с оценкой стоимости по данным бухгалтерской отчетности. При этом выявлено, что ценность железнодорожной инфраструктуры чувствительна к неравномерности перевозок и может быть повышена за счет её сокращения.

Есть над чем подумать и авторам в их дальнейших исследованиях и заинтересовавшимся этим вопросом ученым.

В заключение хочется заметить: удастся ли избавиться от неравномерности как таковой (тем более что к этому есть предпосылки и статистические, и технологические), или мы найдем пути её нивелирования, в том числе и с помощью научных подходов, подобных описанным в монографии, мы узнаем через какое-то количество лет. Но вот отметить, что в решении этой проблемы у многих уже перестала болеть голова и раскрылись глаза, просто необходимо! ●

Информация об авторе:

Чернигина Ирина Алексеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры современных технологий социально-экономического образования Российского университета транспорта, Москва, Россия, sirina331@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 30.06.2023, одобрена после рецензирования 18.07.2023, принята к публикации 20.07.2023.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Авторефераты диссертаций, представленных
к защите в российских транспортных
университетах*

*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/10.30932/1992-3252-2023-21-5-19>

Акашев М. Г. Уточнение методики оценки процессов взаимодействия колёс грузового вагона и рельсов с применением тензометрической колёсной пары / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2023. – 21 с.

Обеспечение безопасности железнодорожного движения является важной проблемой.

Целью работы является совершенствование технологии оценки состояния пути, а также методик оценки воздействия подвижного состава на путь и динамических качеств подвижного состава.

Установлено, что применение тензометрической колёсной парой, обеспечивает достаточную точность и широкие возможности по выполнению длительных записей сил взаимодействия колёс с рельсами на участке пути любой протяжённости, необходимых для вероятностного анализа этих процессов.

Разработана конечно-элементная модель тензометрической колёсной пары грузового вагона с использованием программного комплекса «Универсальный механизм», которая позволила выполнить расчёты её напряжённо деформированного состояния и определить места установки тензорезисторов, позволяющие измерять с наименьшими погрешностями боковую и вертикальную силы в точках контакта колёс с рельсами.

Создан вагон-объект, состоящий из порожнего вагона-цистерны с набегающей тензометрической колёсной парой, для выявления сходаопасных участков пути, где наблюдается снижение коэффициента запаса устойчивости колеса против схода с рельса ниже нормируемого значения.

Проведены, с целью отработки выявления участков пути, опасных по условиям схода колёс с рельсов, полигонные и эксплуатационные испытания специально сформированного опытного поезда, состоящего из грузового вагона с тензометрической колёсной парой, путеизмерительного вагона и вагона-лаборатории с одновременной записью сигналов всех измерительных устройств.

Предложен геометрически-силовой способ оценки состояния пути, который значительно дополняет существующий, основанный на выявлении

отступлений геометрии рельсовой колеи, так как позволяет определять сечения пути, опасные по условиям схода колёс порожних вагонов с рельсов, которые по существующим нормативам считались бы неопасными для их движения.

Разработана, по результатам проведённых экспериментальных испытаний на сети железных дорог, и утверждена ОАО «РЖД» технология геометрически-силового способа оценки состояния пути, позволяющая выявлять сечения пути, в которых коэффициент запаса устойчивости колеса против схода с рельсов снижается ниже нормативного значения 1,3, установленного для грузовых вагонов.

Предложено для определения вероятностных характеристик боковых сил использовать методику выделения случайного сигнала на фоне помех и представлять их запись в виде произведения двух случайных процессов: телеграфного и модифицированного.

Полученные результаты показали, что использование тензометрической колёсной пары и определяемые с её помощью процессы взаимодействия колеса с рельсом позволяют уточнять оценку состояния пути и показателей воздействия на путь.

Перспективой дальнейшей разработки темы является совершенствование тензометрической колёсной пары, разработка новых схем и методов, позволяющих учитывать влияние дополнительных факторов на точность определения сил взаимодействия колеса с рельсом.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Гребенников Н. В. Научные основы повышения энергетической эффективности автономных локомотивов с электрификацией. передачей мощности / Автореф. дис... докт. техн. наук. – Ростов н/Д, РГУПС, 2023. – 40 с.

Цель работы: разработка новых научно обоснованных технических решений, концепции структуры и режимов работы тягового оборудования локомотивов с электрической передачей мощности, обеспечивающих повышение энергетической эффективности эксплуатации, на основе методов обработки регистрируемой информации бортовыми системами локомотивов.

На основании выполненного анализа современного состояния проблемы эффективности эксплуатации автономных локомотивов установлено, что энергоэффективность локомотивов нормируется только для полной мощности дизель-генераторной установки, а эффективность эксплуатации оценивается по удельному расходу топлива на единицу перевозочной работы, и чем ниже нагрузка на ось вагона, тем больше удельный расход дизельного топлива, а значит, повышение энергоэффективности



не может быть достигнуто только лишь за счёт создания новых мощных локомотивов, и особое внимание стоит уделять режимам работы тягового оборудования локомотивов, что позволит привести мощностные характеристики в соответствие с условиями эксплуатации.

Аналитическим путём установлены закономерности, позволяющие определить КПД тягового электрического оборудования локомотивов, в зависимости от тока и выходной/входной мощности. Доказано, что регулирование по напряжению приводит к существенному снижению энергоэффективности тяговых электрических и электромеханических преобразователей энергии на автономных локомотивах с электрической передачей мощности.

Путём применения энергетического подхода разработана и теоретически обоснована методология оценки энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов с электрической передачей мощности на основе паспортных данных тягового оборудования и параметров, получаемых с регистраторов локомотивов.

На основании проведённого анализа эксплуатационных данных установлено, что дизель-генераторная установка грузовых, пассажирских и маневровых локомотивов продолжительное время работает с нагрузками менее 50 %, это обуславливает необходимость применения многодизельных энергетических установок для локомотивов всех видов движения. Определены условия работы элементов электрической передачи мощности и выявлено недоиспользование энергоэффективности преобразования энергии, особенно в передачах постоянного и переменного-постоянного тока, за счёт низкого коэффициента использования мощности дизель-генераторной установки и электрической передачи мощности в целом.

На основе проведённых теоретических исследований определена качественная закономерность увеличения энергетической эффективности тягового оборудования автономного локомотива, которая наблюдается при увеличении коэффициента эффективного использования оборудования, что позволяет для локомотивов, оснащённых многодвигательным тяговым приводом, применить алгоритм, обеспечивающий стабилизацию мгновенного значения КПД при частичной нагрузке локомотива на уровне, близком к значению КПД номинального режима.

Путём применения разработанной методологии оценки энергетической эффективности эксплуатации автономных локомотивов и анализа полученных результатов разработана, обоснована и сформулирована концепция повышения энергетической эффективности, в основе которой лежит принцип масштабируемости используемого тягового оборудования автономного локомотива в зависимости от условий эксплуатации.

Теоретически обосновано применение метода конечных элементов для проведения тяговых рас-

чётов, позволяющего расширить существующие методики проведения тяговых расчётов с целью построения оптимальных траекторий движения поезда с учётом режимов работы тягового оборудования автономных локомотивов.

Экспериментально доказана достоверность и адекватность принятых научных положений при разработке комплексной компьютерной модели автономного локомотива с модульной структурой электрической передачи мощности сопоставлением теоретических результатов расчёта на компьютерной модели и результатов экспериментальных исследований макета тягового модуля электрической передачи мощности.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационного исследования нашли практическое применение при разработке комплекта тягового электрооборудования электрической передачи мощности автономного локомотива. Применение предлагаемой концепции модульной структуры тягового оборудования совместно с бесколлекторными тяговыми электрическими машинами позволило обеспечить необходимые тяговые характеристики с высокими значениями КПД (для маневрового локомотива) как тягового двигателя до 94,6 %, так и всей электрической передачи мощности в целом 85,4 %, что подтверждено на экспериментальном образце комплекта тягового электрооборудования электрической передачи мощности автономного локомотива.

Результаты использованы при модернизации тягового привода маневрового тепловоза серии ТГМ6А, что позволило получить высокие тягово-энергетические характеристики модернизированного тепловоза ТЭМП-1тт. Приёмочные и квалификационные тяговые испытания тепловоза ТЭМП-1тт подтвердили экономию дизельного топлива до 30 % и повышение производительности на 25 %.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Мишкин А. А. Повышение эффективности тепловозов путём замещения части дизельного топлива водородом с использованием бортового алюмоводородного генератора / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Самара, СамГУПС, 2023. – 24 с.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности локомотивов путём применения алюмоводородного генератора с разработкой технико-технологических решений бортовой генерации водорода для перевода работы энергетической установки маневрового тепловоза на топливно-водородную смесь.

Проведённый анализ современного состояния использования водорода в качестве добавки и ос-

нового топлива на АТПС показал, что в настоящее время существует проблема его эффективного применения на локомотивах как с технической точки зрения, так и с точки зрения безопасности. Установлено, что наиболее приемлемым является использование водорода в качестве добавки к дизельному топливу с применением устройств бортового получения водорода. Показано, что наиболее эффективным способом бортового получения водорода на тепловозе является гидролиз алюминия.

Предложенная методика расчёта энергетических характеристик смесового топлива на основе дизельного топлива и водорода позволяет определить показатели, характеризующие работу энергоустановки маневрового тепловоза на разных режимах. Дополнительно она даёт возможность установить необходимые количественные добавки водорода по нагрузочной характеристике с учётом массового расхода добавки водорода и подведённой теплоты от его сгорания в топливно-водородной смеси, а также с учётом затрат мощности на привод вспомогательного оборудования. Установлено, что при замещении части дизельного топлива водородом при работе энергоустановки локомотива оптимальным является применение добавок водорода от 1 % до 5 % на холостом ходу и на 1, 2, 3 ПКМ, что позволяет повысить эффективность маневрового тепловоза, исходя из специфики и условий его работы на данных режимах, на которых осуществляется 70–90 % времени загрузки локомотива.

Проведённый расчёт компонентов процесса гидролиза алюминия на основе стехиометрического баланса и выявленная модель закономерности изменения расхода требуемого количества водорода от компонентов процесса гидролиза при работе энергоустановки тепловоза по нагрузочной характеристике позволили определить необходимое количество воды, щёлочи и алюминия в зависимости от режимов работы энергоустановки локомотива. Необходимая производительность бортового устройства получения водорода составила (0,09–0,91 кг/ч) при установленном диапазоне требуемого количества алюминия (1,18–15,341 кг/ч), воды (1,877–24,395 кг/ч) и щёлочи (1,389–18,054 кг/ч) при работе двигателя на малых нагрузочных режимах (до 3 ПКМ).

Разработанный алгоритм работы бортовой системы получения и подачи водорода в дизельный двигатель локомотива и комплекс запатентованных технических средств для генерации водорода на борту маневрового тепловоза может быть адаптирован на АТПС для реализации замещения части дизельного топлива водородом. Данный комплекс включает: устройство для измерения индикаторных параметров в цилиндрах ДВС, АВГ и устройство электронного управления совместной подачи топлива и добавок водорода. Разработанные и предложенные технические решения

позволяют использовать водород в качестве добавочного топлива на локомотивах по принципу «применения водорода без водорода на борту». Это в свою очередь позволит отойти от использования бортовых систем хранения водорода, эксплуатация которых носит небезопасный характер. Сформированы необходимые требования и меры по соблюдению безопасного использования водорода при эксплуатации маневрового тепловоза, которые направлены на снижение человеческих факторов и максимальной изоляции водорода от окислителей.

Испытания разработанного лабораторного образца АВГ позволили установить допустимый температурный режим в диапазоне 60–70 °С, обеспечивающий его оптимальную работу.

Полученный экономический эффект от применения водорода, получаемого и подаваемого в качестве добавки к дизельному топливу с использованием разработанного бортового АВГ, для одного маневрового тепловоза ЧМЭЗ составил 326024,19 рублей в год.

Научные результаты диссертационной работы могут служить для технологических, тепловых и экономических расчётов при оптимизации и совершенствовании работы бортовых устройств (генераторов) получения водорода для автономного тягового подвижного состава.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Самарском государственном университете путей сообщения.

Цаплин Я. Н. Совершенствование метода оценки несущей способности жёстких аэродромных покрытий/ Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2023. – 16 с.

Целью исследования является разработка метода оценки несущей способности жёстких бетонных и армобетонных покрытий, основанного на учёте характеристик современных воздушных судов и фактического напряженно-деформированного состояния аэродромных покрытий, для определения режимов их эксплуатации.

Выявлено, что существующие методы оценки несущей способности аэродромных покрытий не учитывают характеристики современных воздушных судов и стохастическую природу характеристик эксплуатируемых аэродромных покрытий.

Разработана методика классификации воздушных судов по изгибающим моментам в покрытии, учитывающая характеристики воздушных судов по силовому воздействию на покрытия и позволяющая сопоставлять нагрузки от воздушных судов с категориями нормативной нагрузки.

Численный эксперимент по проверке прочности грунтового основания показал, что тяжёлые типы



воздушных судов могут вызывать в грунтовом основании бетонного покрытия недопустимые напряжения. Рекомендуется для воздушных судов 1-го класса дополнительно выполнять расчёт прочности грунтового основания бетонных и армобетонных покрытий.

Разработаны методики планирования и обработки результатов испытаний бетонных и армобетонных покрытий для определения статистических характеристик: упругой характеристики плиты, коэффициента постели основания и жёсткости сечения плиты.

Усовершенствована методика определения несущей способности бетонных и армобетонных покрытий по результатам натурных испытаний с учётом характеристик опор воздушных судов.

Разработан пакет программ для оценки несущей способности бетонных и армобетонных покрытий

с учётом вероятностно-статистической изменчивости базисных аргументов. Рекомендуется использовать программы в организациях, занимающихся испытаниями бетонных и армобетонных покрытий и оценкой их несущей способности.

Перспективой дальнейшей разработки является совершенствование методов оценки несущей способности железобетонных монолитных и сборных аэродромных покрытий, а также асфальтобетонных покрытий.

2.1.8. – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ), 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.

Белобородова Т. Л., Палий Н. В. Инженерная графика. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – 76 с. ISBN 978-5-7038-6106-6.

Будрина Е. В. [и др.] Экономика транспорта: Учебник / под редакцией Е. В. Будриной. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2023. – 390 с. ISBN 978-5-534-17444-1.

Вейдер Майкл. Инструменты бережливого производства II: карманное руководство по практике применения Lean: перевод с английского. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Альпина ПРО, 2023. – 145 с. ISBN 978-5-9614-6533-4.

Галицкая А. А. Аэропорт, доступный для всех. – М.: Перо, 2023. – 75 с. ISBN 978-5-00218-418-7.

Голов Р. С., Смирнов В. Г., Теплышев В. Ю. [и др.] Управление энергосбережением на промышленном предприятии: Монография / под общей редакцией докт. экон. наук, проф. Р. С. Голова. – М.: Дашков и К°, 2023. – 457 с. ISBN 978-5-394-04644-5.

Кириухин А. Л., Максимов С. В., Толстой С. И. Эскизное проектирование и модернизация судовых энергетических установок: Учеб. пособие. – М.: Инфра-М, 2023. – Ч. 1. – 2023. – 269 с. ISBN 978-5-16-017736-6.

Косарина Е. И., Михайлова Н. А., Демидов А. А. [и др.] Цифровые технологии в рентгеновском неразрушающем контроле: Учеб. пособие / под общей редакцией академика РАН, проф. Е. Н. Каблова. – М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2023. – 315 с. ISBN 978-5-905217-87-6.

Кубрин С. С., Яппаров Е. Р., Иванов И. М. Автоматическая информационная система: Учеб. пособие. – М.: Сам полиграфист, 2023. – 91 с. ISBN 978-5-00166-906-7.

Мищенко А. В., Пилюгина А. В. Методы финансового планирования и оценки эффективности управления производственно-финансовой деятельностью предприятия: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 302 с. ISBN 978-5-16-017783-0.

Нечаев А. С., Красовская О. А., Слободняк И. А. [и др.] Финансовое обеспечение технологических инноваций для эффективного управления предприятиями и организациями: Монография. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2023. – 160 с. ISBN 978-5-8038-1849-6.

Оськина Г. Н., Павлова О. Н., Страшнов С. В. Инженерная графика. – М.: РУДН, 2023. – 24 с. ISBN 978-5-209-11715-5.

Перлова О. Н., Ляпина О. П., Гусева А. В. Проектирование и разработка информационных систем: Учебник. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Академия, 2023. – 254 с. ISBN 978-5-0054-0414-5.

Пищулов В. М. Цикличность развития экономики и финансовой сферы: Монография. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 211 с. ISBN 978-5-16-017885-1.

Прокофьев С. Е., Каменева Е. А., Соляникова С. П. [и др.] Экосистема вузов: трансформация российской системы образования: Монография / под редакцией докт. экон. наук, проф. С. Е. Прокофьева; Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 483 с. ISBN 978-5-16-017986-5.

Савельева Е. А. Основы организации труда в цифровых экосистемах: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 296 с. ISBN 978-5-16-015860-0.

Сахно В. П., Лукичев А. В., Костенко А. В. Эксплуатационные свойства автомобилей. Тягово-скоростные и тормозные свойства. – М. Изд-во: Лань, 2023. – 444 с. ISBN: 978-5-507-45389-4.

Сибирская Е. В., Овешникова Л. В., Буханцева С. Н., Син Ван. Формы бизнес-сотрудничества в цифровой экономике (в контексте инициативы «Один пояс и один путь»): Монография. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023. – 206 с. ISBN 978-5-7339-1692-7.

Турков А. М., Смирнова А. В., Изюмова Н. Ю. Планирование и организация логистического процесса в организациях (подразделениях) различных сфер деятельности: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 252 с. ISBN 978-5-0054-0427-5.

Хайбуллов К. А., Левчук В. И. Технологии автоматизированного машиностроения: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 222 с. ISBN 978-5-0054-0174-8.

Шрубченко И. В., Дуюн Т. А., Хуртасенко А. В., Воронкова М. Н. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 270 с. ISBN 978-5-16-017776-2.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



ОАО «РЖД» 20 ЛЕТ ВМЕСТЕ СО СТРАНОЙ!

В подборку фотоматериалов к празднованию 20-летия ОАО «РЖД», включены в том числе и посвящённые состоявшейся 29 сентября 2023 года на Казанском вокзале Москвы презентации пассажирского поезда, специально брендированного к этой дате.

Свой первый рейс поезд совершит между Москвой и Казанью. До конца 2023 года этот состав будет задействован в перевозках пассажиров между Москвой и Санкт-Петербургом, а также для железнодорожных туров, например, «По Золо-

тому кольцу» Москва – Ярославль – Иваново – Владимир – Москва, «В Сибирь» Москва – Тюмень – Тобольск – Пермь – Москва, «Байкальская сказка» Москва – Пермь – Екатеринбург – Новосибирск – Красноярск – Иркутск – Байкал и т. д.

«Новый тематический поезд «20 лет «ОАО «РЖД» станет своеобразной визитной карточкой компании. Кроме того, это будет настоящий путеводитель по железнодорожным магистралям, действующим в различных регионах нашей страны. Пассажиры смогут узнать много нового



о достопримечательностях в пределах каждой из них. Надеюсь, что после поездки в этом поезде им захочется вживую увидеть эти локации и они включают их в свой график дальнейших путешествий», – сказал заместитель генерального директора компании Иван Колесников.

В составе тематического поезда «20 лет ОАО «РЖД» – 17 новых купейных вагонов, выполненных в виде двухвагонных сцепов. Один из них штабной. В нём размещена общая информация о компании «Российские железные дороги»: наиболее интересные факты, самые яркие проекты, реализованные с 2003 года, а также основные результаты работы за этот период.

Каждый из остальных 16 вагонов посвящен одной из 16 железных дорог – от Калининградской до Дальневосточной.

Новые вагоны созданы на основе передового опыта в области пассажирского вагоностроения с использованием новейших технологий, оборудования и материалов.

**По материалам пресс-центров
Министерства транспорта
Российской Федерации и ОАО
«РЖД»:** <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=287692>;
<https://mintrans.gov.ru/ministry/awards/anniversaries/47> ●



RUSSIAN RAILWAYS HAS BEEN WITH THE COUNTRY FOR 20 YEARS!

The selection of pictures dedicated to the celebration of the 20th anniversary of Russian Railways includes, among others, the presentation of a specially branded passenger train held on September 29, 2023, at the Kazansky Railway Station in Moscow.

The train will make its first trip between Moscow and Kazan. Until the end of 2023, it will be operated for passenger transportation between Moscow and St. Petersburg, as well as for railway tours, for example, on the

route «Along the Golden Ring» Moscow – Yaroslavl – Ivanovo – Vladimir – Moscow, as well as on the routes «To Siberia» Moscow – Tyumen – Tobolsk – Perm – Moscow, «Baikal Fairy Tale» Moscow – Perm – Yekaterinburg – Novosibirsk – Krasnoyarsk – Irkutsk – Baikal, etc.

«The new 20th Anniversary of Russian Railways themed train will become a kind of business card of the company. In addition, it will be a real guide to the railways operating in various regions of our country.



Passengers will be able to learn a lot about the attractions within each of them. I hope that after the trip on this train, they will want to see these locations live and they will include them in their schedule of further travels,» said Ivan Kolesnikov, Deputy General Director of the Company.

The 20 Years of Russian Railways branded train includes 17 new compartment carriages in the form of two-car couplings. One of them is intended for a staff. General information about Russian Railways: the most interesting facts, the most striking projects implemented since 2003, as well as the main results of work during this period are exhibited there. Each of

the remaining 16 carriages is dedicated to one of the 16 railways – from the Kaliningrad to the Far Eastern one.

The new carriages are designed in accordance with best practices in passenger car building using the latest technologies, equipment and materials.

Based on the materials of press centres of the Ministry of Transport of the Russian Federation and Russian Railways: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=287692>; <https://mintrans.gov.ru/ministry/awards/anniversaries/47> •



		Features	Variants of features (dichotomy)
Principles of business management	Enterprises	Creating conditions for enterprise survival in a competitive environment	Strategic orientation
		Elimination of unreasonable restrictions	
	Processes	Behaviour formed by the external environment of the enterprise	Taking advantage of opportunities
			Threat prevention
	Relationships	Type of managerial tasks	Continuity of processes
			Troubleshooting
	Novelties	Level of problems solved	Global
			Local
	Relationships	Relationship type in logistics chains	Relationships with suppliers
			Relationships with consumers
	Novelties	Requirements management stage in the supply chain	Formation of value chains
			Order fulfilment by value chains
	Enterprises	Type of problems solved when managing resource flows	Identification and prevention of hidden threats
			Reduced order fulfilment time
	Processes	Type of goals achieved by flow management	Increased efficiency
			Improved performance

MANAGEMENT
OF TRANSPORT
ENTERPRISES:
MATRIX APPROACH

164

Application of binary matrices formed based on classification features of objects and their variants for the design of management principles. Possible directions for improving management systems for transport enterprises and for various types of chains (those of values, supplies, requirements, and novelties) created on their basis.

THEORY

ROAD TRAFFIC
MANAGEMENT

174



How to define and calculate the criteria for the quality, reliability, and efficiency of traffic management? Assessment of the prospects for further research on road traffic control both from a technical point of view (e. g., using geoinformatics tools) and with approaches used in management theory, e. g., through the time expenditure function. Thus, two approaches to traffic management on the road network are to be considered: a mechanistic and an organic one.





Matrix Approach to Designing Principles of Management of Transport Enterprises



Eugenia A. TARASENKO



Alexey P. TYAPUKHIN

Eugenia A. Tarasenko¹, Alexey P. Tyapukhin²

^{1,2} Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.

¹ Orenburg Institute of Railways – a branch of the Samara State Transport University, Orenburg, Russia.

✉ ¹ t_e_a@mail.ru.

✉ ² aptyapukhin@mail.ru.

¹ ORCID 0000-0001-5940-5254; Russian Science Citation Index SPIN-code: 4963-2714; Russian Science Citation Index Author ID: 863450.

² ORCID 0000-0002-1819-5905; Web of Science Researcher ID: U-8251-2017; Scopus ID 57227058200; Russian Science Citation Index SPIN-code: 2503-5848, Russian Science Citation Index Author ID: 167766.

ABSTRACT

The objective of the article is to substantiate the matrix approach to the design of the principles of management of transport organisations and businesses, as well as to clarify and supplement the quantity and quality of these principles.

Classification was chosen as research method, and binary matrices formed based on classification features of objects and their variants were used as a tool.

The following results have been obtained within the study: an approach to the design of the principles of management of transport organisations and businesses has been substantiated, ensuring their structuring and coordination both vertically or at management levels, and horizontally or by positions; variants

of the principles of management of an organisation or a business have been developed; directions for improving the management systems of transport enterprises and chains based on them are determined.

The implementation of the results obtained will reduce lost profits of enterprises and chains based on them, reduce the time and cost of preparing and implementing management decisions, allow timely responding to the unique requirements of end users and/or services, as well as ensuring compliance of the parameters and characteristics of the internal environment of enterprises and chains based on them with the duration and volatility of environmental factors.

Keywords: transport enterprises, principle, management, design, organisation, business, factor, feature of the object, variant of the feature, supply chain, management levels.

For citation: Tarasenko, E. A., Tyapukhin, A. P. Matrix Approach to Designing Principles of Management of Transport Enterprises. World of Transport and Transportation, World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 164–173. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-1>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

It is rather difficult to overestimate the role of transport enterprises in all areas of modern business [1]. Business is developing at a rapid pace; therefore, managers are increasingly facing the need for timely delivery of various cargoes.

Since the transportation management system is an integral part of the overall management system of an organisation [2], it should be considered from the perspective of a matrix approach to the design of organisation and business management.

The principles of managing socio-economic systems play an important role in achieving the goals of transport organisations, including their supply chains [3].

They make it possible to specify approaches to achieving goals and solving problems; create the prerequisites for developing strategies; predetermine the content of methods of influencing the staff; regulate forms of cooperation with third-party organisations; contribute to implementation of organisational culture and to conflict resolution; indicate directions for change and innovation, etc.

If we consider a transport organisation as a system that requires management, then in its composition it is customary to distinguish a subject (who manages?) and an object (who is managed?). This means that the subject (an aggregate of managers) and the objects (a set of performers) organise their activities based on appropriate principles. It should be considered that the subject and the object have different structures, and the subject of management is characterised by the organisational structure of management, and for the object the production structure of the organisation is predominant. The subject and objects of management, once there is a common goal (usually making a profit), solve different problems and perform only their own functions. Based on this, we can conclude that the management principles used by the subject and object of management, on the one hand, have different content, and, on the other hand, they must be structured and coordinated not only within the organisation, but also outside it, for example, within chains creating values for end consumers of products and/or services.

Solving these problems is significantly difficult due to the complexity, heterogeneity, variability and transience of factors in the external environment of organisations and requires the use of a system approach, which is

based on the emergence of new properties or conditions, the hierarchy of constituent parts, as well as communication and management of these parts [4].

This article presents the results of a study, the *objective* of which was to design principles for managing an organisation or a set of managers who make and implement management decisions, and a business or a set of performers who create value for end consumers of products and/or services that can be used in the activities of transport organisations.

RESEARCH METHODOLOGY

The method of designing management principles belongs to the group of qualitative methods for studying complex objects [5].

Any complex object performs functions, while possessing quantitative parameters and qualitative characteristics. If the «management principle» is chosen as the object of a study, then it is characterised by qualitative characteristics or attributes. It is important to distinguish between objects of research and factors of the external and internal environment that predetermine the formation of several variants of the object of research. Factors in the external and internal environment of an organisation are also described by quantitative parameters and qualitative characteristics. In this study, priority will be given to their qualitative characteristics or attributes. A factor, characterised by a set of characteristics varying over a wide range, limited by dichotomies, influences the object of study. At the same time, the signs of external and internal environmental factors do not always change continuously and smoothly from one dichotomy to another [6]. In some cases, several fixed options can be distinguished. For example, the attribute «the role of an employee in the organisation» of the internal environmental factor «personnel» can be considered in two versions: the employee as an individual and the employee as a person making (executing) decisions. It is difficult to call these two options dichotomies, since for a given employee the main options for the attribute may be other ones, less significant for the researcher. Therefore, the characteristics of a factor and their variants should have priorities (ranks) depending on the objectives of the study [7]. It is also necessary to emphasise that several signs of one and the same factor can be used simultaneously, each of which can have several options. In other words, when



Personality (0)
Employee's role in the
organisation
Performer (1)

Element: *position* (0) Connections: *communications* (1)

Competence (000)	Awareness (001)
Organisational structure (010)	Behaviour in the group (011)

Pic. 1. Classification of groups of organisational management principles, code «0» [developed by the authors].

designing principles for managing an organisation and/or a business, it is necessary to identify factors of the external and internal environment, then the characteristics of these factors, and, finally, variants of these characteristics.

Thus, when designing principles for managing a transport organisation and/or a business, the following steps should be completed:

1) To determine priority: factors of the external and internal environment of the studied object; priority signs of these factors; and variants of these signs (descriptive method).

2) To form a set of binary matrices using together two signs of various factors influencing the object of study, including two variants of each of these signs, or less precisely, dichotomies (facet method).

3) To fill the cells of binary matrices with management principles that are adequate to the selected characteristics and their options.

The set of management principles obtained using these stages has the following properties:

a) The number of principles obtained is a multiple of 2^x , where the number «2» reflects the number of attribute options (dichotomies), and x is the number of factor attributes used. It is easy to see that each of the resulting principles can be designated by a binary code, which greatly facilitates their digitalisation for the development and application of computer support for management activities.

b) In the simplest case, groups of management principles are first formed, the number of which is a multiple of 2^x or their first level; each group in turn is divided into management principles; each principle, in accordance with the objectives of the study, can also be divided into components of principles, etc.

c) Management principles are interconnected both in terms of various factors and their variants, which facilitates the implementation of these principles by connecting their content vertically (management levels) and horizontally (positions).

d) In case of changes in factors of the external and internal environment of the organisation, the corresponding characteristics and options

change, which makes it possible to either refine or redesign the set of management principles, thereby ensuring their continuity, flexibility, and adaptability to the changing conditions of the organisation's activities, including the chains (of values, supplies, requirements, innovations, etc.) created basing on them.

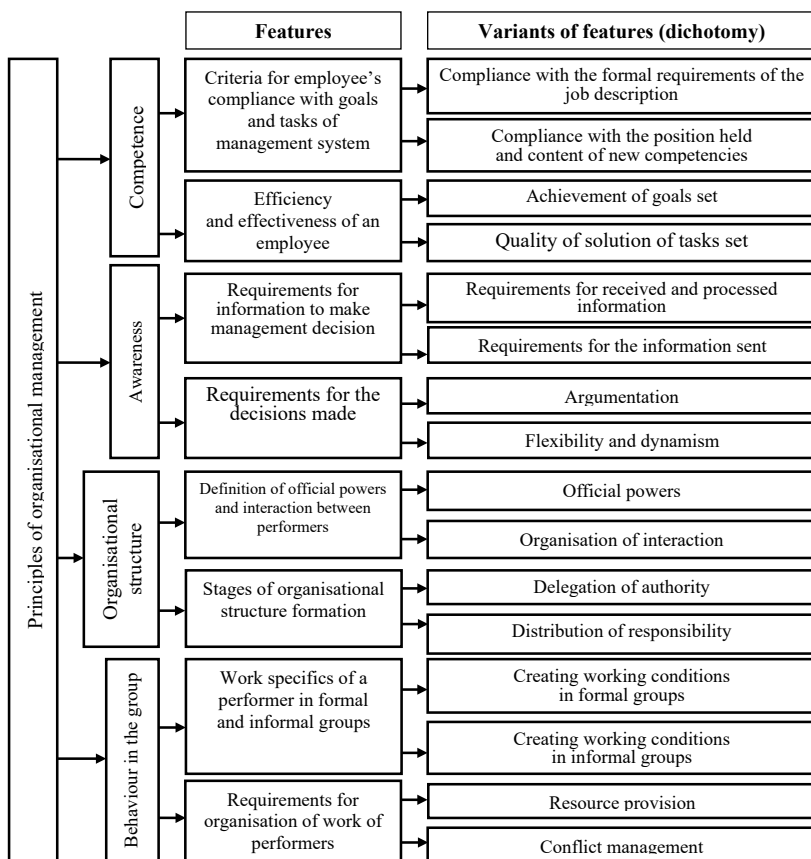
As has been shown earlier, the principles of managing socio-economic systems can be divided into two groups of principles (based on the attribute «type of person related to a management decision» and its variants: «persons making management decisions», code «0», and «persons involved in creating value for end consumers of products and/or services», code «1»). In the first case, the principles of managing an organisation are designed, in the second case, the prerequisites are formed for designing the principles of managing a business or, for example, supply chains. Based on the codes «0» and «1» groups of characteristics with a three-digit code are formed, as well as control principles with a five-digit code.

RESULTS

Designing Organisational Management Principles (by Management Decision Makers)

To form a group of principles for managing an organisation, it is necessary to highlight the main factor of its internal environment, which is the management system or the persons making management decisions. The basic features of this factor include: «components of a management system» and their variants: element or position, code «0», as well as connections or communications, code «1», as well as «an employee's role in the organisation» and its variants: personality, code «0», and performer, code «1».

The combined use of these characteristics and their options allows us to form four groups of organisational management principles or first-level principles: «competence», code «000», «awareness», code «001», «organisational structure», code «010», and «behaviour in the group», code «011» (Pic. 1).



Pic. 2. Hierarchy of features and variants that ensure the design of organisational management principles [developed by the authors].

From Pic. 1 it follows that the basis of design is constituted by: the competence of the persons making management decisions (their awareness, which allows them to justify these decisions); an organisational structure that provides conditions for structuring and coordinating management decisions across levels and positions within the organisation, as well as the behaviour of decision makers in formal and informal groups, facilitating their interaction at all stages of the life cycle of these decisions. It can be concluded that groups of management principles presented in Pic. 1 are sufficient to adjust the main sections of the organisation's management.

Groups of organisational management principles, code «0,» in turn, need to be specified. To solve this problem, it is advisable to use group features and variants of features presented in Pic. 2.

These features and variants make it possible to:

1) Assess the competence of management decision makers in terms of the goals and objectives facing the organisation's management

system, considering their compliance with job descriptions and the requirements of the current management situation.

2) Clarify the requirements for information, management of information flows, as well as the quality of decisions made, not only under the operational, but also under the strategic aspect, considering their lost profits.

3) Control the rationality of the organisational management structure of the organisation in terms of its compliance with the state of the organisation's external environment, which predetermines the adjustment of its goals and objectives, as well as the functions performed by management decision makers.

4) Provide effective support not only to individual employees of the organisation in accordance with their positions, but also to formal and informal groups, allowing for a synergistic effect.

Using the information in Pic. 2, it is possible to justify the number and content of the principles of organisational management (Pic. 3).



Efficiency and effectiveness of an employee	Achievement of goals set (0)	Group of principles (000) "Competence"		Group of principles (001) "Awareness"	
		Criteria for employee's compliance with goals and tasks of management system		Requirements for information to make management decisions	
		Compliance with the formal requirements of the job description (0)		Requirements for received and processed information (0)	
	Quality of solution of tasks set (1)	Compliance with the position held and content of new competencies (1)		Requirements for the information sent (1)	
		Education and training (00000)	Painstaking, diligence, and initiative (00001)	Availability and protection of information (00100)	Structured and logical information (00111)
		Experience, intuition, behaviour in conditions of uncertainty and risk (00010)	Order, priorities and discipline (00011)	Relevance of information (00110)	Variation of management decisions (00110)
Stage of formation of the organisational structure	Delegation of authority (0)	Authority and power (01000)	Separation and cooperation (01001)	Investments in human resources (01100)	Stimulating informal relationships (01101)
		Centralisation (01010)	Scalar chain (01011)	Sociability and communication skills (01110)	Empathy and support (01111)
	Distribution of responsibilities (1)	Official powers (0)	Organisation of interaction (1)	Creating working conditions in formal groups (0)	Creating working conditions in informal groups (1)
		Definition of official powers and interaction of performers		Work specifics of a performer in formal and informal groups	
		Group of principles (010) "Organisational structure"		Group of principles (011) "Behaviour in the group"	

Pic. 3. Classification of principles of organisational management system [developed by the authors].

Pic. 3 allows us to draw the following conclusions:

a) As noted earlier, the number of management principles when using several features and their two variants together is 2^x . With a multi-level structuring of these principles, there will be four of them at the first level, 16 at the second level, 64 at the third level, etc.

b) Each principle has a five-digit binary code that allows the use of computer support for management activities, with the help of which it is possible to process significant amounts of information accompanying the implementation and use of management principles.

c) Management principles have a clear structure that makes it possible to distribute these principles along the horizontal and vertical lines of management of the organisation and ensure the creation of relationships between positions and levels of management. So, the general director of the organisation is responsible for the

implementation and use of all management principles, the functional directors are responsible for the group of principles, and the head of a department, reporting to the functional director, is responsible for each principle separately (if necessary).

d) The relationships between the principles (heads of departments) or their groups (functional directors) are maintained thanks to common options for the characteristics of the management object. For example, the principle of «scalar chain», code «01011», is connected with the principle of «centralisation», code «01010», through the variant «distribution of responsibilities» of the feature «stage of formation of the organisational structure». At the same time, the principle of «scalar chain», code «01011», has connections with the principle of «separation and cooperation», code «01001», due to the variant «organisation of interaction» of the feature «definition of official

Scalar chain component	Structure	Position
Integrity	Hierarchy (0101100)	Replaceability (0101101)
Scalar chain characteristics		
Restrictions	Formalisation (0101110)	Subordination (0101111)

Pic. 4. Classification of the first level components of the principle «scalar chain». code «01011» [developed by the authors].

Principles of hierarchy formation in a scalar chain		
	Legality	Statement
Conditions for maintaining hierarchy in a scalar chain	Unambiguity	
	Status (010110000)	Regulations (010110001)
	Dependency (010110010)	Unity of command (010110011)
Transparency		

Pic. 5. Classification of components of the second level of the principle «scalar chain», code «01011» [developed by the authors].

powers and interaction of performers». In a similar way, it is possible to establish relationships between groups of organisational management principles, for which it is necessary to use the characteristics and options presented in Pic. 1.

e) Each of the principles of organisational management can be structured into components of several linearly ordered levels.

An example is the «scalar chain» principle, code «01011», which, with the help of features and their variants: «scalar chain component» («structure» and «position»), as well as «scalar chain characteristics» («integrity» and «restrictions»), can be divided into first level components: «hierarchy», code «0101100», «replaceability», code «0101101», «formalisation», code «0101110», and «subordination», code «0101111» (Pic. 4).

If, as a component of the «scalar chain» principle, code «01011», we take the «hierarchy» component, code «0101100», then with the help of such features and their variants («principles of hierarchy formation in a scalar chain»: «legality» and «statement», as well as «conditions for maintaining hierarchy in a scalar chain»: «unambiguity» and «transparency»), we can distinguish the second level components of the «scalar chain» principle, code «01011»: «status», code «0101110000», «regulations», code «0101110001», «dependency», code «0101110010», and «unity of command», code «0101110011» (Pic. 5).

The information presented in Figs. 4 and 5, can be specified using the example of information in Fig. 6, which shows the sequence of formation of groups of principles, specific principles, and their components of several linearly ordered

levels. In addition, this picture presents an approach to creating codes for these objects intended for the use of computer support for management activities.

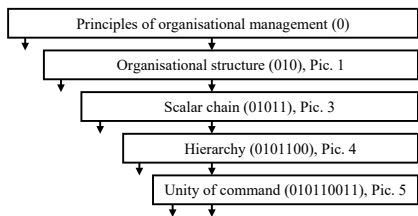
Designing the Principles of Transport Business Management (by Persons Making Management Decisions)

Previously, it was argued that one should distinguish between the principles of managing an organisation or decision makers, code «0», and the principles of managing a business or persons making these decisions, code «1».

The term «business» has different meanings, although it is clearly associated with the term «organisation» and with the association of organisations. As a factor that predetermines the quantitative parameters and qualitative characteristics of a business, we will choose the supply chain. There are two ways to define groups of business management principles:

1) Using literature sources, from which it follows that supply chain management is a series of integrated enterprises [8]; integration of trading partners [9]; a total system approach to managing the entire flow [10]; management of upstream and downstream communications [11].

2) Using the following features and variants for supply chain management features: «state of the supply chain over time» («statics» and «dynamics»), as well as «processes performed by the supply chain» («processing of resources» and «receipt and/or transfer of resources»). The joint use of these characteristics and variants repeatedly allows us to confirm that the main groups of business (supply chain) management principles include: «enterprises», code «100», «processes», code «101», «relationships», code



Pic. 6. An example of the sequence of forming codes of organisational management principles [developed by the authors].

«110», and «flows and/or stocks», code «111» (Pic. 7).

Groups of business (supply chain) management principles, in turn, need to be specified [12]. To solve this problem, it is advisable to use group characteristics and variants of characteristics presented in Pic. 8.

These features and variants make it possible to:

1) Monitor the external and internal business environment (supply chain), identifying threats and opportunities on their part, while adhering to a strategic orientation when making and implementing management decisions and eliminating restrictions that may have previously been necessary, but have lost their relevance, for example, due to the COVID-19 pandemic.

2) Eliminate supply chain management problems, thereby ensuring the continuity of processes, solving various problems both within supply chains (local tasks) and in the external environment of chains of this type (global tasks), such as sustainability and sustainable development.

3) Identify and maintain relationships with suppliers and consumers in supply chains when creating value for end consumers of products and/or services.

4) Increase the efficiency and improve the effectiveness of supply chains by reducing the time it takes to satisfy consumer orders, including by identifying and preventing hidden threats.

Using the information in Pic. 8, it is possible to justify the number and content of business (supply chain) management principles (Pic. 9).

Pic. 9 allows us to draw the following conclusions:

a) Supply chains involve enterprises that have special competence, for example, technology, and are interconnected following the direction of the flow of resources, the movement of which is not hampered by natural or artificially created barriers that are eliminated by the contractor or their group at any workplace or division of the enterprise.

b) The basis for organising any process when creating values for the end consumer of products and/or services is a pull system, the implementation of which requires a system approach and the elimination of both typical and unique problems for the enterprise, most of which in supply chains involve process integration and synchronisation.

c) Process integration and synchronisation are necessary for joint creation of value by both its consumer and suppliers under the conditions of an optimal combination of attracted material, information, financial and human resources, achieved through global optimisation with the involvement of virtual enterprises and the conclusion of economically feasible relations with them, including on a long-term basis.

d) One of the forms of achieving economic goals in supply chains is to reduce lost profits by eliminating possible barriers to the trajectory of resource flows, which, when creating unique values for end consumers, include single products within the framework of lean production, the basis of which is formed by inventory management.

By analogy with the conclusions regarding the implementation of organisational management principles, code «0», principles of business (supply chain) management, code «1», can also be adapted to the specifics of positions and levels of enterprise management. In addition, these principles must be agreed upon between adjacent parts of the supply chain or within the logistics chain [12]. In this case, we can talk about the formation of a logistics supply chain management system at the first stage of its creation and supply chain management systems covering the initial suppliers of resources and ending with the final

State of the supply chain over time

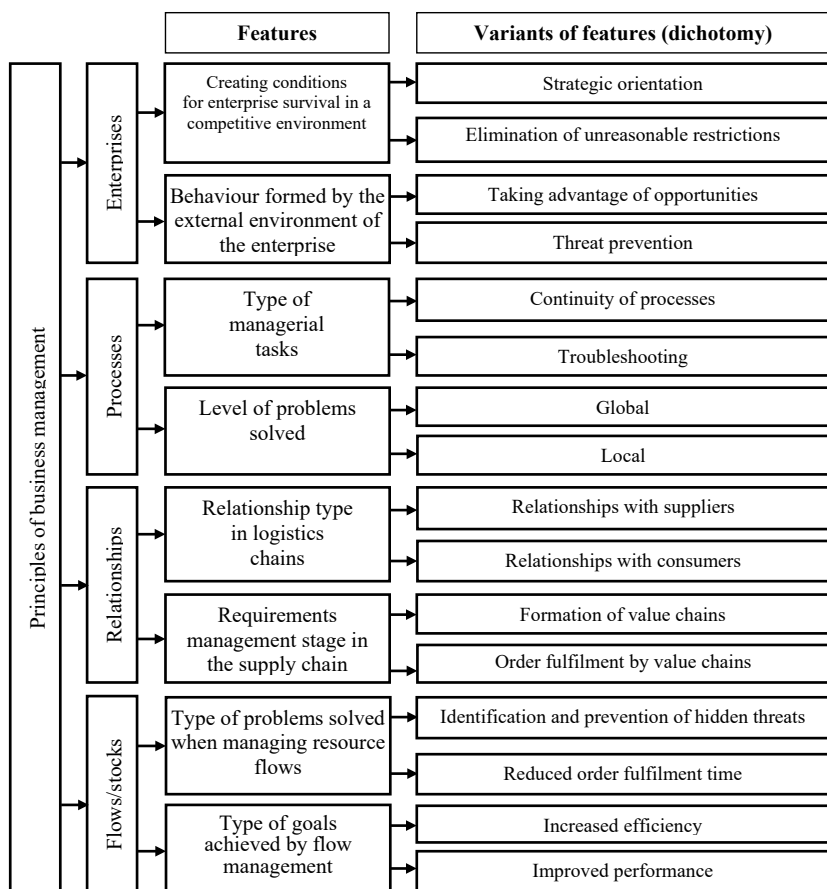
Processing of resources (0)
Processes performed by the chain
Receipt/transfer of resources (1)

Statics (0)

Dynamics (1)

Enterprise (100)	Processes (101)
Relationships (110)	Flow and/or stock (111)

Pic. 7. Classification of business (supply chain) management components, code «1» [developed by the authors].



Pic. 8. Hierarchy of features and variants that ensure the design of business (supply chain) management principles [developed by the authors].

consumers of products and/or services, a problem to which researchers pay very little attention.

DISCUSSION

The relevance of management principles that apply to the activities of persons making and executing management decisions is beyond doubt. At the same time, justification for their quantity and quality; creating prerequisites for their structuring and coordination vertically or by management levels and horizontally or by position; monitoring the effectiveness of the principles used; their adjustment and design raise many questions.

It would seem, why change approaches to solving these issues? Moreover, the results of implementing the developed management principles are already known, ensuring that enterprises obtain the results they need. However, difficult-to-predict environmental factors «exact in unnecessary quantities of unnecessary quality at unnecessary times, causing unnecessary costs, affect many consumers who do not receive the

goods they need in the place they need.» To overcome the negative consequences of these factors, new approaches to managing organisations and businesses, including supply chains, are needed. The accelerating pace of changes forces organisations to be in a state of continuous change [13].

The main problem here is the impossibility of unambiguously measuring management objects, since in most cases they are described by qualitative characteristics, which, as a rule, do not imply development of a scale of characteristics of these objects and, as a result, are subjective and sometimes authoritarian in nature. This article once again emphasises the need to identify and rank relevant and irrelevant features of management objects using computer support for research activities. No one is surprised by the need to justify the keywords of any article, allowing it to be found from many research articles on a given topic. The authors claim that it is exactly in the same manner, but in relation to a specific object of study, for



Stage of requirements management in logistics chain Behaviour formed by the external environment of the enterprise	Order fulfillment by value chains (1) Taking advantage of opportunities (0) Threat prevention (1) Formation of value chains (0)	Group of principles (100) «Enterprises»		Group of principles (101) «Process»		Level of problems solved Type of goals achieved by flow management
		Creating conditions for enterprise survival in a competitive environment Strategic orientation (0) Elimination of unreasonable restrictions (1)		Type of problems solved by management Continuity of processes (0) Troubleshooting (1)		
		Specialisation and cooperation (10000)	Removing barriers between departments (10001)	Implementation of pull systems (10100)	Preparation without rushing, quick implementation (10111)	
		Sustainability and sustainable development (10010)	Repressing fear from the enterprise (10011)	Process integration synchronisation (10110)	Stopping to diagnose the problem (10110)	
		Virtual integration (11000)	Focus on customer values (11001)	Reducing lost profits (11100)	One piece flow management (11101)	
		Global optimisation (11011)	Co-Creating Value (11011)	Removing inter-organisational barriers (11110)	Stock management (11111)	
		Relationships with suppliers (0)	Relationships with consumers (1)	Identification and prevention of hidden threats (0)	Reduced order fulfilment time (1)	
		Relationship type in the supply chain		Type of problems solved when managing resource flows		
		Group of principles (110) «Relationships»		Group of principles (111) «Flows and/or stocks»		

Pic. 9. Classification of business management principles (supply chains) [developed by the authors].

example, supply chains, that you can select its «key words» or features that are relevant at a specific point in time. If these signs are identified and «standardised,» this will greatly facilitate mutual understanding not only among researchers, but also among practitioners, as well as students of educational institutions, who operate with different signs of a given object that do not allow it to be used most effectively to achieve sometimes vital results.

It is on this aspect of research, in the authors' opinion, that a discussion should begin in journals that are initially focused on discussions of various kinds, which cannot be fruitful until the objects of these discussions are, at least partially, «measured.» One of the approaches to solving the problem of qualitative research of almost any management object, including principles, is once again outlined in this article.

CONCLUSION

The results obtained in this study are preliminary in nature, suggesting continued research not only into the principles of management of a transport organisation and business, but also into other components of the management system of socio-ecological-economic systems, such as goals, objectives, approaches, methods, functions, etc., i. e., those results may be applicable in other areas of the national economy. Similar to the well-known balanced scorecard system [14], it is necessary to develop subsystems of balanced components of enterprise management systems, on the basis of which a new balanced values, supplies, requirements and new products chain management system will ultimately be created, focused, on the one hand, on creating value for end consumers of products and/or services, and,

on the other hand, on ensuring sustainability and sustainable development of the human community.

It is obvious that objects managed by various types of systems are constantly becoming more complex, changing their quantitative parameters and qualitative characteristics, and appearing in various combinations [15]. It is impossible to influence them effectively without the use of computer support for management activities. Therefore, it is necessary to «explain to the computer» which objects, with what parameters and characteristics, are concerned. To do this, it is necessary to learn to measure objects of any type, using only their inherent actual features in a certain quantity and (close to optimal) quality. It is these characteristics that should form a scale for measuring these objects, understandable for an electronic computer, which cannot tolerate understatement, unclear formulations, excessive diversity, and other attributes that creatures with a higher organisation of mental activity have to reckon with. Taking a step forward towards an objectively justified unification of characteristics and options for managed objects means creating the prerequisites for formation of teams of performers, regardless of their location, clearly representing the structure of the studied object and, on this basis, foreseeing directions for its optimisation. Then it is quite possible that the goals and objectives of sustainability and sustainable development will be achieved and solved in a shorter period than expected.

REFERENCES

1. Sysenko, M. V., Lebedeva, A. S. Analysis of prerequisites for innovative transformation of subjects of the transport services market in modern conditions. *Intellekt. Innovacii. Investicii [Intellect. Innovations. Investments]*, 2023, Iss. 6, pp. 43–55. DOI: <https://doi.org/10.25198/2077-1175-2023-6-43>.
2. Solodkiy, A. I. Development of intelligent transport systems in Russia: problems and solutions: new stage. *Intellekt. Innovacii. Investicii [Intellect. Innovations. Investments]*, 2020, Iss. 6, pp. 10–19. EDN: PDUSFR.
3. Abramkina, M. D., Litovchenko, V. B. Digitalisation of the logistics industry [*Tsifrovizatsiya logisticheskoi*

- otrasli]. Vestnik SamGUPS*, 2023, Iss. 3 (61), pp. 20–26. EDN: QFAUQM.
4. Collins, R. C., Dent, B., Bonney, L. B. A guide to value-chain analysis and development for Overseas Development Assistance projects. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, ACT. 2015. ISBN 978-1-925436-10-9.
5. Coyle, J. J., Langley, C. J., Novack, R. A., Gibson, B. J. Supply Chain Management: A Logistics Perspective. 11th ed., South-Western Cengage Learning, 2020. ISBN 035744213X / 9780357442135.
6. Tarasenko, E. A., Karkh, D. A., Tyapukhin, A. P. Logistics system management: Monograph [*Upravlenie logisticheskimi sistemami: Monografiya*]. Moscow, RuScience publ., 2021, 156 p. ISBN 9785436579191.
7. Karkh, D. A., Abbazova, V. N., Tarasenko, E. A. Methodological tools for diagnostics of the supply chain management system in railway subdivisions. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and management*, 2022, Vol. 16, Iss. 2, pp. 150–164. DOI: 10.14529/em220215.
8. Tyapukhin, A. P., Matveeva, O. B., Tasmaganbetov, A. B. Distinctive features of the logistics approach to managing information flows. *Journal of the Ural State University of Economics*, 2019, Vol. 20, Iss. 1, pp. 112–130. DOI: 10.29141/2073-1019-2019-20-1-8.
9. Strauss, A. L., Corbin, J. M. Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques. 1st Edition. Newbury Park: SAGE Publications, 1991, 270 p. [Electronic resource]: <https://archive.org/details/basicsofqualitat0000stra>. Last accessed 17.06.2023.
10. Wisner, J. D., Tan, K. C., Leong, G. K. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. Cengage Learning, 2014, 576 p. ISBN 9780538475488.
11. Blackhurst, J., Cantor, D., O'Donnell, M. Sustainable Supply Chains: A Guide for Small- to Medium-sized Manufacturers, 2012. [Electronic resource]: <https://www.hbs.edu/faculty/conferences/2015-strategy-research/Documents/Sustainable%20Supply%20Chains.pdf>. Last accessed 17.06.2023.
12. Christopher, M. Logistics & Supply Chain Management. Pearson Education Limited, 5th Edition, Harlow, England, 2016. ISBN 9781292083797.
13. Shcherbov, V. O., Fomenko, N. M. Transformation of organisational management processes in modern conditions [*Transformatsiya protsessov upravleniya organizatsiei v sovremennykh usloviyakh*]. *Vestnik evraziiskoi nauki*, 2023, Vol. 15, Iss. s1. EDN: CWBAUT.
14. Kaplan, R. S., Norton, D. P. The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance. Harvard Business Review, Jan. –Feb. 1992, pp. 71–79. [Electronic resource]: <https://hbr.org/1992/01/the-balanced-scorecard-measures-that-drive-performance-2?iOS=w>. Last accessed 17.06.2023.
15. Lisetskiy, Yu. M. Enterprise management system [*Sistema upravleniya predpriyatiem*]. *Programmnie produkty i sistemy*, 2018, Iss. 31 (2), pp. 246–252. EDN: UYSUAL.

Information about the authors:

Tarasenko, Eugenia A., Ph.D. (Economics), Researcher at Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor at the Department of Logistics and Transport Technology of Orenburg Institute of Railways – a branch of the Samara State Transport University, Orenburg, Russia, t_e_a_t@mail.ru.

Tyapukhin, A. P., D.Sc. (Economics), Professor, Director of Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, aptyapuhin@mail.ru.

Article received 23.06.2023, approved 27.09.2023, accepted 02.10.2023.





Promising Areas of Research for Developing Single Approaches to Assessing the Quality, Dependability and Efficiency of Traffic Management



Roman N. GORBUNOV



Zinaida V. GORBUNOVA



Vasily S. KOLCHIN

*Roman N. Gorbunov*¹, *Zinaida V. Gorbunova*², *Vasily S. Kolchin*³

^{1, 2, 3} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.

✉ ² flocean@mail.ru.

ABSTRACT

The article provides proposals for improving the efficiency of traffic management using geoinformation data. The objective of the research is to identify promising areas of research to develop single approaches to assessing quality, dependability, and efficiency of traffic management using relevant criteria.

The authors reviewed these criteria from the point of view of regulatory documentation and noted the possibility of using models of urban road networks to find optimal modes of managing traffic at minimal cost. Since previous studies showed the lack of single approaches and clear criteria for optimising traffic management, it was proposed to comprehensively consider the possibility of assessing traffic not only from a technical point of view, but also from the point of view of approaches used in management theory.

As a tool of assessment of the efficiency indicators of traffic management, a time cost function was proposed, which is the sum of the time costs for all the road users. Increasing the efficiency of

traffic management is achieved by minimising this function. It is also noted that when the time cost function is reduced, the material costs of road users, such as fuel costs, are reduced.

Having examined the principles of functioning of road traffic in other countries, the authors identified two approaches to management of traffic on the road network: mechanistic and organic ones. Mechanistic approach presupposes strict respect of the rules by all the road users, while organic one presupposes the ability to deviate from the rules. The authors presented examples of self-organisation of traffic on sections of the road network of the city of Irkutsk, which is an example of application of an organic approach to organising traffic in Russia.

The article results in development of several promising areas of research, due to which uniformity of approaches to selection and formation of requirements for indicators of dependability, quality and efficiency of traffic management can be achieved.

Keywords: transport, street and road network, traffic management, geographic information systems, dependability, quality, efficiency.

For citation: Gorbunov, R. N., Gorbunova, Z. V., Kolchin, V. S. Promising Areas of Research for Developing Single Approaches to Assessing the Quality, Dependability and Efficiency of Traffic Management. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 174–180. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The growing motorisation poses a serious challenge to the existing street and road network (hereinafter referred to as SRN). Traffic congestion occurs every day in many cities, especially often during morning and evening rush hours. Many researchers have been studying the processes of occurrence and assessment of congestion for a long time [1–11], however, the organisation of traffic on such road networks is problematic if outdated approaches are used.

Modern software solutions that allow modelling of traffic flows on urban SRN in conjunction with existing digital maps of geographic information systems (hereinafter referred to as GIS), can optimise the process of increasing the efficiency of traffic management (hereinafter referred to as TM) in the cities.

To organise such work, a one-time transfer of existing digital GIS maps into a traffic modelling program is sufficient. Next, it is necessary to perform the following algorithm of actions:

- To enter information about the operating modes of traffic light systems and other information about the parameters and operating modes of SRN.
- To collect data on existing traffic volumes on SRN.
- To refine (adjust) the model to real conditions, that is, to correct errors that could arise during data transfer.

Combining all the information in a single model will make it possible to simulate the operation of the city's traffic system during different periods of the day, and this, in turn, will make it possible to optimise the operation of the city's traffic system, select optimal operating modes for traffic lights, and develop recommendations for changing traffic patterns.

Any changes to TM scheme planned by local governments can be assessed at the planning stage.

The implementation of such an approach is possible at the state level by creating a single TM centre that might carry out similar work for all settlements of the country. The creation of such centres in every city or region is impractical, since operation of such centres requires highly qualified specialists, and the services of such a centre are not constantly required in cities, that is, many cities can be provided by a single centre.

However, to optimise the operation of the TM system, it is necessary to determine criteria for evaluating its operation and select optimisation criteria.

In general, the criteria by which TM is assessed can be divided into three groups:

- Dependability criteria.
- Quality criteria.
- Performance criteria.

Thus, the *objective* of the research is to determine promising directions for further development of single approaches to assessment of quality, dependability, and efficiency of traffic management in accordance with relevant criteria.

Each of the groups of criteria is independent and allows assessing TM under different aspects; nevertheless, further research can result in determining integral criteria of TM assessment that consider the above parameters.

RESULTS

Since SRN is a technical item, it is subject to GOST [State Standard] R 27.102–2021 «Dependability in Technics»¹², where dependability means a property of an item to maintain over time, within established limits, the values of all parameters characterising the ability of an item to perform the required functions under the given modes, conditions of use, maintenance, storage, and transportation strategies.

In accordance with this GOST, dependability is a complex property, which, depending on the purpose of the item and the conditions of its use, may include:

- Reliability: the property of an item to continuously maintain an operational state for some time or operating time in specified modes and conditions of use.
- Durability: the property of an item to maintain an operational state until a limit state occurs with an established maintenance and repair system.
- Maintainability: a property of an item, which consists in its adaptability to maintaining and restoring the operability of the item through maintenance and repair.
- Availability: the property of an item to maintain, within specified limits, the values of parameters characterising the ability of an item to perform the required functions during and after storage and (or) transportation.

¹ GOST R 27/102–2021. Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200181141>. Last accessed 23.06.2023.

² Developed taking into account main provisions of the IEC standard 60050–192:2015 «International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability», NEQ. – *Ed. note.*



Quality, according to GOST [State Standard] R ISO 9000, means the degree of compliance of inherent characteristics with requirements³⁴. The term «quality» has a broader interpretation and can include not only technical requirements, but also user requirements for functioning of SRN. Efficiency indicators, presented as the ratio of the result obtained to the costs incurred, are best assessed through time and monetary (material) costs [12].

Since the main task of SRN is to enable vehicles to move, the result is the vehicle's arrival at its destination. Thus, the result is constant, while the time and material costs may vary. In case we are talking about functioning of SRN, then it all comes down to optimising the function $F(t) = \sum t_i$, where t_i is the time spent on movement by road users. It is logical to assume that if the function is optimised, the material costs incurred by road users, such as fuel costs and vehicle wear and tear, can also be optimised. In addition, reducing travel time increases the productivity of organisations involved in passenger and cargo transportation.

Some approaches to estimating the efficiency through monetary costs borne by road users have been presented previously in [12].

It is worth understanding that the function $F(t)$ tends to a certain limit due to existing speed limits, a possibility of losing time when passing intersections, pedestrian crossings, humps and traffic lights and due to other factors. In addition, increasing the number of traffic lanes is not always possible, and when such an opportunity exists, multiple increases may not be practical.

Increasing the number of lanes by widening the roadway, constructing bypass routes, or making other changes to the configuration of the road network requires investment of funds, the volume of which is limited. In this regard, it is necessary to determine the assessment of time parameters to be able to compare them with financial costs of reconstructing the roadway.

This largely affects moral aspects in terms of assessing the cost of a person's lifetime, however,

such a comparison might be necessary to select the most effective option for optimising (modernising) the SRN operation.

In the simplest version, when choosing possible alternatives for spending funds, it is possible to directly compare the reduction in time costs ($\Delta F(t)$) with the cost of various available options for reconstructing SRN. In this case, the option or options with the highest specific time savings can be selected.

Besides, if the approach to creating a single TM centre is implemented at all SRN, first, measures should be taken to assess the efficiency of traffic light facilities and options for optimising their operation should be proposed, since reconfiguring traffic light facilities requires a minimum amount of investment.

As described earlier, in addition to time losses, material losses should also be assessed.

After determining the assessment criteria, it is also necessary to resolve the issue of collecting data on traffic parameters. As noted in previous studies [13], data collection can be carried out both using single sources of GIS data, such as vehicle-mounted laboratories, and using mass sources of GIS data. The collection of GIS data can be also performed using previously suggested methods [14]. The effectiveness of using certain data sources for each of the indicators used should also be assessed.

Management theory suggests two approaches to creation of management structures: mechanistic and organic ones [15]. The organisation of traffic on urban road networks is implemented in varying degree using these approaches. The first approach assumes full compliance with traffic rules (hereinafter referred to as TR) by road users. This approach is good because road users know in advance the behaviour of others. The creation of potential emergency situations is unlikely. However, this approach requires a larger amount of work on TM, both from the point of view of creating road infrastructure, for example, installing additional, duplicate signs, traffic lights and taking other measures, and from the point of view of monitoring violations. Understanding by road users of inevitability of punishment and that violation of the rules will reduce the quality of traffic for themselves and others, as well as the extremely low number of cases in which drivers could interpret the situation on the road in two ways, leads to the fact that an understanding of the need to strictly follow traffic rules is formed at the institutional level and is intuitive. This

³ GOST R ISO 9000. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. [Electronic resource]: <https://rustestm.ru/wp-content/uploads/2021/10/gost-r-iso-9000-2015-sistemy-menedzhmenta-kachestva-osnovnye-polozheniya-i-slovar.pdf>. Last accessed 23.06.2023.

⁴ Identical to ISO 9000:2015 «Quality management systems – Fundamentals and vocabulary», IDT. – *Ed. note*.

approach, in our opinion, is found in European countries, for example, in Germany.

The organic approach presupposes the presence of some unspoken rules (concepts) that have developed among road users in general, or when driving on certain sections of SRN. In this case, traffic rules are necessary only to give a general concept of road traffic and determine the culprit in case of an accident.

With the organic approach, the main criterion for movement is reasonable behaviour and minimisation of the cost function. That is, if it is possible to violate traffic rules without consequences or with minimal risk of receiving a fine, then they will be violated if this leads to a «win» for the road user. The behaviour of road users can be described using approaches based on the game theory.

For example, with an organic approach, suddenly changing lanes in front of another car is considered normal, since road users realise that all road users are not interested in an accident, as a lot of time will be spent on processing it, the innocent participant in the accident will incur additional transaction costs associated with receiving compensation from the insurance company, or through the court, if the liability of the person responsible for the accident was not insured. Also, a car after an accident is usually sold at a discount compared to an undamaged one. In addition, the driver of the car whose lane the offender is entering can be recognised as the culprit of the accident if there will be not a side collision, but a collision with the rear of the offender's car, and of in the absence of other objective data (video recorders, surveillance cameras, witness statements, etc.) etc.) the culprit of the accident will insist that there was no lane-changing manoeuvre, and the driver of the second car did not keep his distance. Thus, as a rule, an accident is not beneficial to any of the participants in the accident, and often it is easier for the driver to give way to the offender rather than incur time and material costs.

With the organic approach, traffic participants (government authorities) often unconsciously use the approach of reducing the time cost function $F(t) = \sum t_i$ associated with all road users, that is, the system comes to equilibrium. The possibility of the existence of equilibrium in such systems was proven earlier [16].

Thus, at the institutional level, the main priority for road users is formed, which is to avoid colliding with the cars of other traffic

participants. The combination of mechanistic and organic approaches requires less government control and less investment in road infrastructure since self-organisation of the road traffic system is carried out in some sections of the road network. This approach is being used in some Asian countries.

However, in some cases, a similar approach, in our opinion, is also applied in Russia.

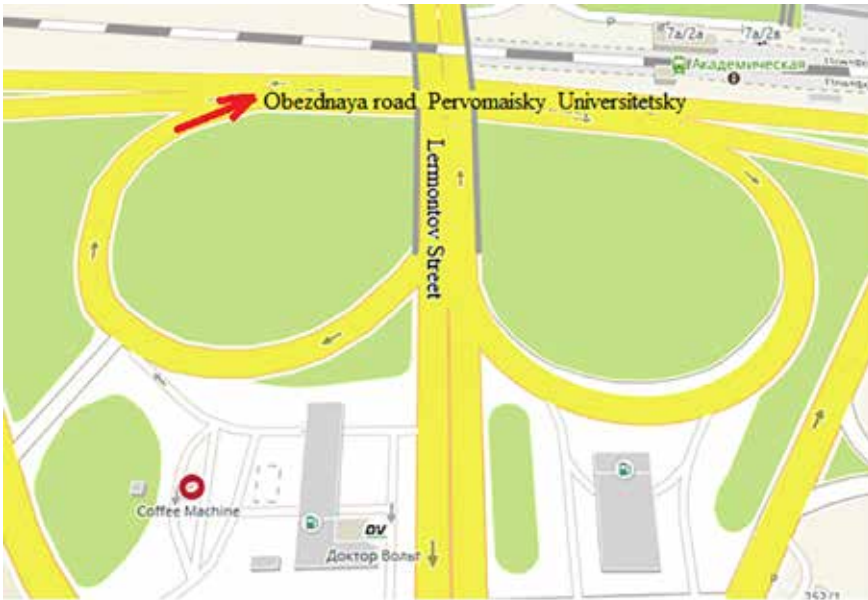
For example, in the city of Irkutsk during rush hours, exiting from a two-level interchange on Lermontov Street (Pics. 1, 2) respecting traffic rules is impossible due to the high traffic intensity on the bypass road; a similar situation arises when passing the road section of Gornaya street – K. Liebknecht street – I. Utkin street (Pics. 3, 4).

During peak hours, to be able to exit a secondary road in accordance with traffic regulations, in these examples it is necessary to install traffic lights. Nevertheless, due to the understanding that, despite the priority of traffic, it is necessary to give way to cars moving from the secondary road to avoid colossal congestion on the adjacent streets, traffic participants use an organic approach. By periodically giving way to cars that do not have priority, self-regulation of movement occurs and the social function of time costs $F(t) = \sum t_i$ decreases. If traffic rules were fully observed during peak hours, a traffic jam would occur, the length of which would exceed the length of the road segment, that is, the traffic jam would restrict traffic at other intersections.

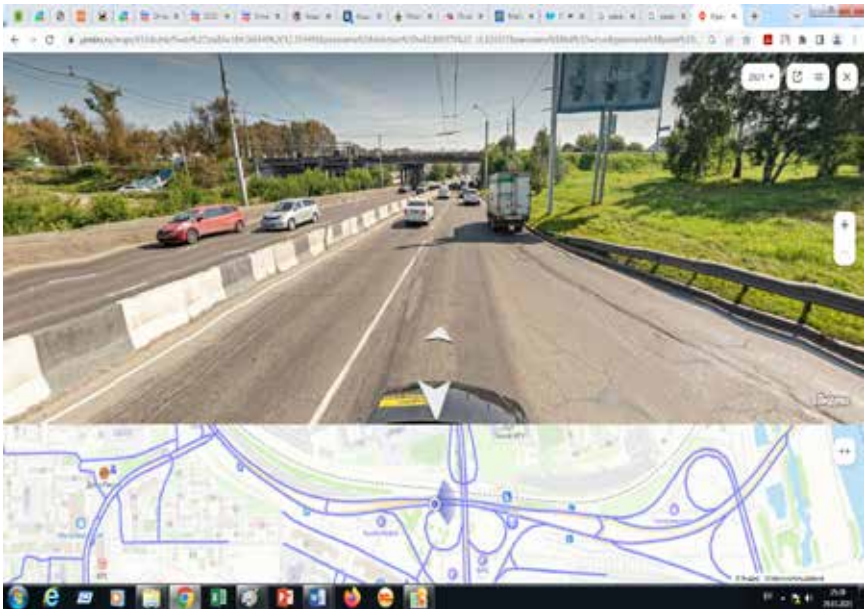
The disadvantage of the mechanistic approach is the fact that in case of a malfunction of traffic management systems, for example, disruption of operation of a traffic light facility, the absence of a road sign or incorrect markings, road users will either be unable to continue moving or traffic conditions will be significantly worsened. Besides, not all the situations are specified in the traffic rules, and they could not be applied at all sections of the road traffic system, especially in old urban areas. The disadvantage of the organic approach is that the lack of clearly defined requirements can lead to the phenomenon that different road users may have different priorities and, accordingly, there may be a misunderstanding of the events taking place.

In general, considering both approaches, it can be noted that both approaches have pros and cons, and for optimal traffic management, a combination of both approaches can be used to achieve reliable, high-quality, and efficient functioning of SRN.





Pic.1. Scheme of a two-level interchange on Lermontov Street (Irkutsk) [image from the website 2GIS <https://2gis.ru/irkutsk/>].



Pic. 2. Exit from the two-level interchange on Lermontov Street (Irkutsk) [image from the website Yandex.Maps <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk/>].

CONCLUSIONS

The choice of regulatory instruments using a mechanistic or/and organic approach is an important condition for reliable, high-quality, and effective TM. For correct selection of control and management actions, it is necessary to determine the criteria for assessing TM. Such an assessment can be carried out based on

indicators of dependability, quality, and efficiency of SRN.

Both in regulations and research sources there are different approaches to determining road traffic parameters, however, there is no clearly developed methodology and uniformity of approaches to selection and formation of requirements for indicators of dependability, quality, and efficiency



Pic. 3. Route Gornaya street – K. Liebknecht street – I. Utkin street (Irkutsk) [image from the website 2GIS <https://2gis.ru/irkutsk>].



Pic. 4. Exit from Gornaya street on K. Liebknecht street (Irkutsk) [image from the Yandex. Maps website <https://yandex.ru/maps/63/irkutsk>].

of TM. Thus, the research conducted has shown that the following areas of research are promising:

1. Classification of indicators, and the selection of the most relevant indicators for assessment of TM’s dependability, quality, and efficiency.

2. Scientific justification for applicability of those indicators. depending on the parameters of

the street and road network, as well as evaluation of possibility of application of integral criteria for TM assessment.

3. Scientifically based standardisation of these indicators depending on the length of the SRN and other parameters.

4. Scientifically based choice of sources of data on parameters of SRN operation, assessment



of optimal frequency of data collection for measuring each of the indicators.

5. Development of scientifically grounded approaches to modelling of traffic flows when monitoring road traffic and scientific substantiation of the requirements for models used for monitoring.

6. Development of research methods for economic assessment of losses caused by congestion, depending on the considered indicators of SRN operation.

Conducting research in these areas will improve theoretical knowledge in this field and will significantly increase the efficiency of road traffic monitoring.

REFERENCES

1. Blinkin, M. Ya., Tkachenko, B. A. System assessment of traffic conditions based on Herman-Prigogine model [Sistemnaya otsenka uslovii dvizheniya na baze modeli Khermana-Prigozhina]. In: *Socio-economic problems of development of transport systems of cities and zones of their influence: proceedings of XV international scientific and practical conference* (Yekaterinburg, 16–17 June, 2009). Yekaterinburg, ABM publ., 2009, pp. 135–143. [Electronic resource]: <https://www.waksman.ru/Russian/Konference/2009/III/blil.htm>. Last accessed 23.06.2023.
2. Vlasov, V. M., Bogumil, V. N. Methodology for assessing indicators of «traffic service levels» adapted to urban conditions [Metodiki otsenki pokazatelei «urovnei obsluzhivaniya dvizheniya», adaptirovannykh k gorodskim usloviyam]. *Vestnik MADI*, 2015, Iss. 4 (43), pp. 69–78. EDN: UYSEDP.
3. Golovnykh, I. M., Mikhailov, A. Yu. Modern trends in design and reconstruction of urban road networks: Monograph [Sovremennye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setei gorodov: Monografiya]. Novosibirsk, Nauka publ., 2004, 267 p. ISBN 5-02-032091-9.
4. Zakharov, N. S., Boyarkina, E. F. Patterns of formation of the number of passenger cars on the city road network: Monograph [Zakonomenosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobilei na ulichno-dorozhnoi seti goroda: Monografiya]. Tyumen, TyumGNGU publ., 2011, 160 p. ISBN 978-5-9961-0468-0.
5. Levashev, A. G., Sharov, M. I. Development of criteria for assessing the quality of service in urban passenger transport [Razvitie kriteriev otsenki kachestva obsluzhivaniya na gorodskom passazhirskom transporte]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2015, Iss. 7, pp. 174–178. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23828768>. Last accessed 23.06.2023.
6. Levashev, A. G., Mikhailov, A. Yu., Sharov, M. I. Modern methods for assessing the quality of traffic management in cities [Sovremennye metody otsenki kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh]. Irkutsk, 2015, 218 p. Preprint dep. in VINITI RAS 31.03.2015, № 64-B2015. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24879838>. Last accessed 23.06.2023.
7. Rumyantsev, E. A., Mikhailov, A. Yu. On the effectiveness of criteria for assessing traffic conditions [Ob effektivnosti kriteriev dlya otsenki uslovii dvizheniya transportnykh potokov]. In: *Organisation of road safety in large cities: collection of reports at IX international conference* (St. Petersburg, September 2010). St. Petersburg, pp. 121–123.
8. Tebenkov, S. E. Development of methods for monitoring traffic flows for operational traffic management on highways: abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razvitie metodov monitoring transportnykh potokov dlya operativnogo upravleniya dorozhnym dvizheniem na magistralnykh: avtoref. diss.kand.tekh.nauk]. Irkutsk, IrGTU publ., 2013, 20 p.
9. A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion and Enhancing Mobility. Institute of Transportation Engineers, Publication IR-054B, 1997, 119 p. [Electronic resource]: <https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/17000/17800/17841/PB2001104711.pdf>. Last accessed 23.06.2023.
10. Herman, R., Ardekani, S. A. Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas. *Transportation Science*, 1984, Vol. 18 (2), pp. 101–140. DOI: 10.1287/trsc.18.2.101.
11. Herman, R., Prigogine, I. A Two-Fluid Approach to Town Traffic. *Science*, 1979, Vol. 204 (4389), pp. 148–151. DOI: 10.1126/science.204.4389.148.
12. Gorbunov, R. N., Gorbunova, Z. V., Gorbunova, L. N., Karlina, A. I. Kolchin, V. S. Theoretical approaches to economic assessment of the costs of road users due to a decrease in traffic speed [Teoreticheskie podkhody k ekonomicheskoi otsenke zatrat uchastnikov dorozhnogo dvizheniya v svyazi so snizheniem skorosti soobshcheniya]. *Aircraft engineering and transport of Siberia: collection of articles of XIV international scientific-practical conference* (Irkutsk, 21–26 September 2020). Irkutsk, IRNITU publ., 2020, pp. 150–156. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46534098>. Last accessed 23.06.2023.
13. Gorbunov, R. N. Improving the efficiency of road traffic monitoring based on time and buffer indexes using geo-information data. *Bulletin of civil engineers*, 2020, Iss. 2 (79), pp. 173–180. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-173-180.
14. Gorbunov, R. N., Gorbunova, Z. V., Kolchin, V. S. Methods to assess service quality within street and road network based on time and buffer indices [Metodika otsenki kachestva obsluzhivaniya v ramkah ulichno-dorozhnoi seti na baze vremennogo i bufernogo indeksov]. *Intellect. Innovations. Investments*, 2019, Iss. 8, pp. 80–86. EDN: RRXLWC. DOI: 10.25198/2077-1715-2019-8-80.
15. Almazova, A. E., Semenova, N. K. Comparative analysis of mechanistic and organic systems of enterprises and organizations [Srvnitelnyy analiz mekhanisticheskikh i organicheskikh sistem predpriyatii i organizatsii]. *Molodoi ucheniy*, 2016, Iss. 14 (118), pp. 307–310. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389090>. Last accessed 23.06.2023.
16. Gorbunov, R. N. Service level assessment based on the travel time index. *Bulletin of civil engineers*, 2019, Iss. (76), 9–196. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-16-5-189-196.

Information about the authors:

Gorbunov, Roman N., Ph.D. (Engineering), Associate Professor at the Department of Road Transport of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, gorbunow@list.ru.

Gorbunova, Zinaida V., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Road Transport of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, flocean@mail.ru.

Kolchin, Vasily S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Road Transport of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, kolchin@ex.istu.edu.

Article received 15.06.2023, approved 12.12.2023, accepted 15.12.2023.

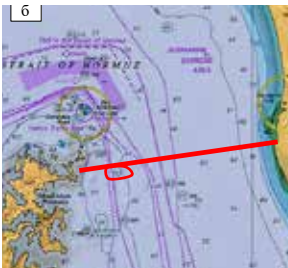


SCIENCE AND ENGINEERING



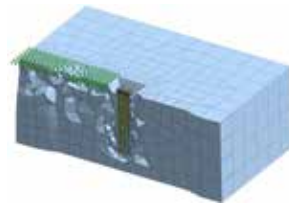
COASTAL STRUCTURE PROTECTION 182

Theoretical possibility and the results of laboratory tests referring to development of local stable sand beach to protect transport infrastructure against wave impact.



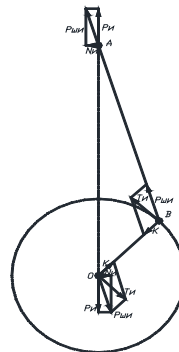
ENGINEERING STRUCTURES 192

Underwater floating transport structure: research and computation to optimise the design to solve problem of overloading of its elements.



BRIDGE CONSTRUCTION 204

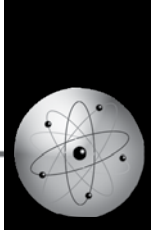
Assessment of the impact of construction of supporting wall made of reinforced soil on the foundation of bridge abutment.



MARINE ENGINES 211

Torsional vibration and breakdown torque: a study on interaction.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 182–191

Protection of Transport Structures from Wave Action by Creating a Sandy Wave-Damping Beach



Galina V. TLYAVLINA



Roman M. TLYAVLIN



Nestifor A. YAROSLAVTSEV

Galina V. Tlyavlina¹, Roman M. Tlyavlin², Nestifor A. Yaroslavlsev³

^{1, 2, 3} Scientific Research Centre «Sea Coasts», subdivision of the Central Research Institute of Transport Construction, Sochi, Russia, Sochi, Russia.

✉ ¹ TlyavlinaGV@Isniis.com.

¹ ORCID 0000-0003-4083-9014, Scopus ID: 57215131371, Russian Science Citation Index SPIN-code: 5516-9241, Russian Science Citation Index Author ID: 604630.

² ORCID 0000-0002-8648-0492, Russian Science Citation Index SPIN-code: 3365-3637, Russian Science Citation Index Author ID: 123325.

ABSTRACT

The design and operation of transport structures (railways, roads, bridges) located on the seashores in the zone of possible erosion by waves requires particularly careful consideration of shoreline protection measures.

The article, using the example of a specific section of the Sambian Peninsula from Cape Taran to Cape Gvardeisky in Kaliningrad region, shows the problem of protecting a road running along the coast from wave action and suggests ways to solve it. The study describes results of laboratory studies on creation of a wave-

damping sandy beach on the shores under conditions of material deficiency in the alongshore sediment flow. The research was carried out using the method of physical modelling in a wave basin.

The research has proved the fundamental possibility of creating a local stable sandy beach to protect transport structures from wave action under the conditions of material deficiency in the alongshore sediment flow.

The research results can be extended to other coastal sections of roads and railways.

Keywords: road, shore protection, wave-damping structures, railway, lithodynamic processes, bridge support, sandy beach, erosion, physical modelling.

For citation: Tlyavlina, G. V., Tlyavlin, R. M., Yaroslavlsev, N. A. Protection of Transport Structures from Wave Action by Creating a Sandy Wave-Damping Beach. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 182–191. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-3>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Protecting transport structures (roads and railways, bridge supports, etc.) located on the shores of the seas from wave action has always been a difficult task [1]. Particularly difficult is the strengthening of shores with sandy sediments, when the intensity and direction of lithodynamic processes in the coastal zone of the sea cannot always be unambiguously and reliably assessed with the accuracy required for development of design measures for engineering protection [2].

One of the striking examples of a railway laid along coastlines with sand deposits is the Pacific section of the Far Eastern Railway Korsakov – Nogliki, where in some sections the roadbed and bridge abutments are already exposed to waves. Pic. 1 shows that the sandy beach is almost completely washed away and the abutments of the bridge over the Gar River (263rd km of Korsakov – Nogliki section of the Far Eastern Railway) are under the threat of being washed away by storm waves.

At another section (272nd – 273rd km) there is a narrow strip of beach in front of the railway roadbed (Pic. 2). Here the beach is considered as a coastal protection structure and its width must be sufficient to absorb wave energy at the design tidal sea level. On the section of coast under consideration, the width of the existing beach is insufficient to protect the roadbed from being washed away by waves. To protect the coast from

wave erosion and ensure uninterrupted operation of railway transport, coast protection measures had been carried out for a long time. Currently, the coastal slope along almost the entire length of the considered section of the coast is covered with stones of various sizes.

When covering the coastal slope, mainly large stone was used. However, under the top layer of large stone, laid in one row, stone of a smaller fraction was placed. During the impact of waves on the slope, when the top layer of the stone fill was disturbed, small fractions were washed out, which led to deformation of the stone cover protecting the railway roadbed (Pic. 3). Covering the slope of the roadbed with stones of varying sizes in the absence of a wave-absorbing beach in front of it could not fully provide the necessary protection from wave erosion.

This work, using the example of the Sambian Peninsula (Kaliningrad region), shows the results of the studies on sandy beaches that ensure stability of the coast and safety of transport routes.

The problem of erosion of the shore in this area and the roads located along it has been relevant for several decades [3, 4]. Attempts to solve it have generally been not successful. Meanwhile, roads that are at risk of erosion are very important for the entire region. For example, the road along the Curonian Spit is the only one connecting the National Park with the city of



Pic. 1. Washing away of the bridge abutments at 263rd km of Korsakov – Nogliki section of the Far Eastern Railway. 2020 [photo made by the authors].





Pic. 2. A narrow strip of beach on 272nd –273rd km of Korsakov-Nogliki section of the Far Eastern Railway. 2020 [photo made by the authors].



Pic. 3. Washing away of the base of the roadbed slope at 273rd km of the section Korsakov – Nogliki. 2020 [photo made by the authors].

Zelenogradsk. Since for a qualitative solution to the problem of coastal erosion in this region, an accurate assessment of ongoing lithodynamic processes on the underwater slope is of primary importance, great importance is given to their study.

The northern coastal zone of the Sambian Peninsula from Cape Taran along its entire length has been subject to abrasion for a long time. The coastal protection and beach retention structures built at the beginning of the last century had already been destroyed or seriously deformed by 1971 [5], and the beach retention structures erected later were ineffective. Beach erosion continues, and the coast recedes [6].

The one-way movement of sandy material along the shores of the Sambian Peninsula (alongshore sediment flow) and its influence on the rate of coastal retreat was established back in the first part of the 20th century. It was shown that within the western coast of the peninsula the general movement of sediment is directed southward, towards the Vistula Spit, and within the northern coast – eastward, towards the Curonian Spit.

Studies of lithodynamic processes in the coastal zone of the southeastern Baltic in the sixties of the last century confirmed the existence of alongshore movement of sand sediments. The concept of a single alongshore flow of sand sediments, directed from Cape Taran to the entrance to the Gulf of Riga, was proposed [7]. At the same time, these studies showed a deficiency of sand sediments within the Sambian Peninsula to the root of the Curonian Spit, and, consequently, a deficiency of sand in the alongshore sediment flow.

The concept of a single alongshore flow of sandy material in practical terms resulted in construction of beach retention structures that retained part of the material from the sediment flow, causing a local expansion of the beach strip and a decrease in the rate of coastal erosion, but without stopping it completely. The removal of material from the alongshore sediment flow by the system of spur dikes increased the sediment deficit in the flow and the intensity of erosion of the lower section of the coast.

Currently, the idea of a single alongshore sediment flow in the south-eastern Baltic is considered outdated by several researchers, and a concept of relatively isolated morpholithodynamic cells of different scales has been proposed [8], according to which sections of diverging sediment

flows alternate along the coast, counter flows are formed in cells of a smaller scale, converging at the tops of coastal arcs. The existence of morpholithodynamic cells is confirmed by the results of mathematical modelling of sand transport generated by wind waves in the coastal zone.

Within the coast under consideration, from Cape Taran to Cape Gvardeisky, there are two areas of convergence from Cape Taran to Svetlogorsk and an area of divergence of flows in Pionerskaya Bay [9]. Recommendations for the use of selected morpholithodynamic cells to solve practical problems of coastal protection have not been developed yet.

From the above it follows that several questions related to movement of sediment along the south-eastern Baltic remain open despite ongoing research [10–16], and the applied methods of coastal protection are ineffective [17].

Therefore, further research into lithodynamic processes in the coastal zone of Kaliningrad region is necessary, and the search for a rational way to protect eroded shores and transport structures located on them is one of the important practical tasks.

OBJECTIVE, MATERIALS AND METHODS

In this work, studies of stability of a sandy beach in combination with wave-damping and beach-retaining structures were carried out using the method of physical modelling in a wave basin.

The coastal zone of the northern coast of Kaliningrad region from Cape Taran to the Curonian Spit inclusive is considered.

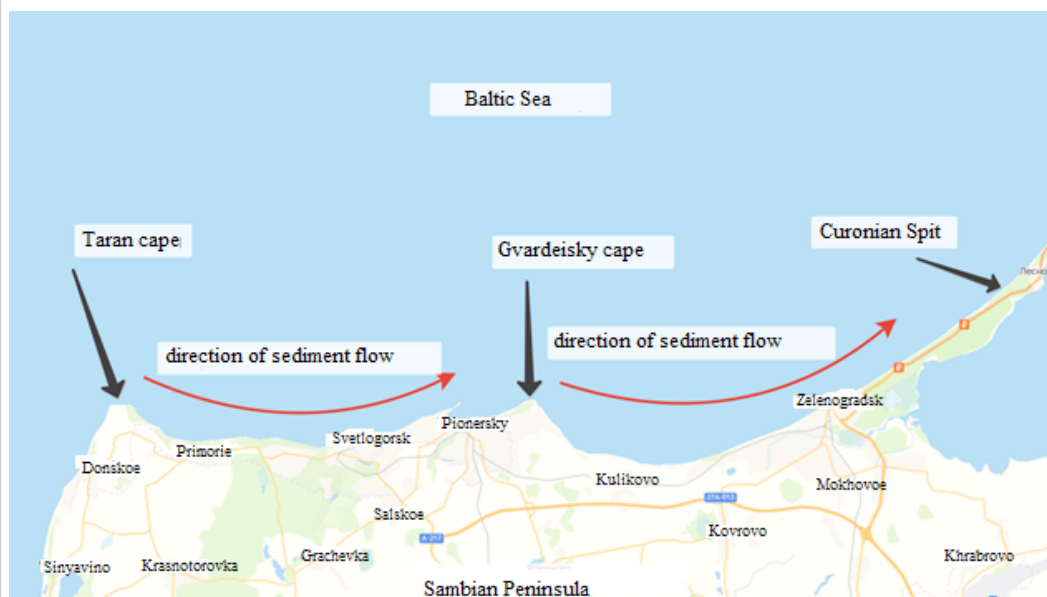
The objective of the study is to determine on a physical model a set of measures to ensure the stability of the created sandy beach on an abrasive section of the coast with a deficiency of sediment in the alongshore flow.

RESULTS

The History of the Issue

In 1976, the Black Sea branch of Central Research Institute of Transport Construction (TsNIIS) developed an engineering method for calculating the formation of artificial free beaches and prepared recommendations for their use on the Kaliningrad Baltic coast [18]. The possibility of creating a sandy beach without beach retention structures was indicated by the impressive difference in the dynamics between the western coast of the Sambian Peninsula in the discharge zone of the sandy pulp of the Yantarny [Amber]





Pic. 4. Northern coast of the Sambian Peninsula [developed by the authors].

plant and the northern coast of the peninsula, the sediment flow along which was replenished mainly with material from shore erosion. The northern coast of the peninsula during 1960–1970 retreated everywhere, in some places by up to 0,5 m per year, and the western one from the place of pulp discharge to the city of Baltiysk was accumulative for 33 km. The volume of sand deposited in this area by 1974 amounted to about 30000 m³, and an extensive accumulative ledge was formed in the pulp drainage area. An attractive idea arose of creating a full-profile sandy beach without beach-holding and wave-damping structures, ensuring complete damping of storm waves and stability of the coastal slope. To do this, it was necessary to fill (refill) the required volume of sand material, from which a profile of dynamic equilibrium would be formed and this would cover the shore from the effects of waves.

On the northern coast of the Sambian Peninsula, abrasion predominates. The rate of retreat of the shore edge in 1976 in some areas was estimated from 0,1 to 0,5 m per year and remains approximately the same at present. It should be noted that before the start of the dumping of overburden from the Yantarny plant, the western coast of the Sambian Peninsula was retreating at approximately the same speed as the northern one [6].

Calculation of the dynamic equilibrium profile for the section Taran Cape – Kupalny Cape was carried out with wave parameters of 4 % probability in the mode and 50 % probability

in the system along the line of the first collapse: wave height $h = 4,4$ m, period $T = 9,5$ s and average sand size $d_{50} = 0,15$ mm. The collapse of the calculated wave under such conditions occurs at the depth of $H_{cr} = 7,6$ m at a distance of 600 m from the shore.

A comparison of the actual profiles of the underwater slope within the six-hundred-meter strip of the coast under consideration with the calculated dynamic equilibrium profile showed that throughout the entire length the field profiles are located below the calculated one, indicating a shortage of sandy material in the coastal strip. The total sand deficit in the Taran cape – Kupalny cape section alone, with a length of about 25 km, amounted to 17,3 million m³.

On a significant area of the bottom of the coastal strip, boulder-block material lies on the surface, forming an erosion pavement area bordering the Sambian Peninsula with a width of 250 m to 5 km. At capes Taran, Kupalny and Gvardeysky, the stone pavement area adjoins directly to the shore and the beach strip is completely washed away. Only at the tops of the bays beaches up to 30–50 m wide made of fine and medium-grained sand were preserved, and on the underwater slope there was a layer of sandy material above the stone pavement area. The wide distribution of stone pavements covering bottom sediments in the coastal strip served as the basis for the conclusion that the alongshore sediment flow in the area from Cape Taran to Cape Gvardeisky is formed mainly due

to erosion of the coastal slope, and the proportion of material from bottom erosion is insignificant (Pic. 4). It was assumed that all the material from the erosion of the coast and bottom goes away with the alongshore flow and does not participate in the formation of the profile of the underwater slope of the abrasive sections of the coast.

The stone pavement of the bottom along the northern coast of the Sambian Peninsula causes the formation of an alongshore flow with a large sediment deficit. An alongshore flow without sediment deficiency can only form when there is a profile of dynamic equilibrium. Calculation of alongshore flow capacity, i. e. the transporting ability of waves and the alongshore currents of fine-grained sand excited by them with an average diameter of 0,15 mm off the northern coast of the Sambian Peninsula showed that it varies from 240 thousand to 520 thousand m³ per year depending on the direction (azimuth) of the coastline. The actual alongshore sediment flow on the approach to Cape Kupalny was estimated at 200 thousand m³ per year and, therefore, the sediment deficit in the alongshore flow ranged from 280 thousand m³ to 320 thousand m³ per year for certain sections of the coast.

The extent of the shortage of sandy material on the northern coast of the Sambian Peninsula and at the same time the shortage of sand in the alongshore flow showed the full scale of the solution to the problem of creating a wave-damping sandy beach without beach-retaining structures, but it seemed that technically this problem could be solved. It was only necessary to find the appropriate reserves of sand and pour (refill) it onto the shore into the zone of origin (formation) of the alongshore sediment flow. An option was also proposed to solve this problem by transferring the pulp of the Yantarny Plant to the northern coast of the Sambian Peninsula, but this proposal did not receive support, and the discharge of pulp to the western coast of the peninsula was stopped in 2000.

The idea of creating a wave-absorbing sandy beach without beach-retaining structures was implemented by the SNPO Baltberegozaschita. During 1987–1991, a beach with a maximum width of 140 m was reclaimed from the material cut from the high emergency shore in the Filino-Primorye section in the amount of 2,3 million m³ of sand over an area of 1,1 km [6]. The man-made beach was created in a zone with a minimum capacity of the alongshore sediment flow of 240 thousand m³ per year within the considered area

of the northern coast of the Sambian Peninsula and, therefore, characterised by a minimum sediment deficit in the alongshore flow. However, the stability of the reclaimed beach turned out to be low, and the erosion rate was significantly higher than expected [18]. Eight years after the end of reclamation, the beach was almost completely washed away. At the same time, no noticeable increments of the beach were detected in the next areas along the sediment flow, and, consequently, the material left the reclaimed area not only along the coast, but also, and perhaps mainly, to the deep waters, forming a profile of dynamic equilibrium.

The continued erosion of the beaches and shores of the Sambian Peninsula necessitated the protection of local emergency areas with the help of beach-retaining structures, while the construction of spur dikes with a low root part continued [17], while a century of experience in using those spur dikes under the conditions of sand deficiency in the alongshore flow showed their low efficiency. The low root part of the spur dikes reduces their beach-holding capacity. The maximum efficiency of the spur dikes will be ensured when the profile of their crest follows the designed beach with a reasonable margin. That is why 40 previously erected wooden spur dikes in Zelenogradsk did not lead to stabilisation of the beach strip.

The deficiency of sediments in the coastal zone and in the alongshore flow of the Sambian Peninsula, as well as unsuccessful experience of creating a free wave-absorbing sandy beach, showed the futility of this direction. But the problem of protecting the eroded shores of Kaliningrad region remains, and the search for a way to solve this problem continues to this day.

Problem Statement

A promising direction for protecting the abrasive shores of Kaliningrad coast seems to be creation of sandy beaches in combination with wave-damping, beach-retaining and shoreline protection structures.

Wave-damping structure which is an intermittent breakwater made of tetrapods partially dampens wave energy and reduces the wave impact on the beach and reduces the width of the zone of intense alongshore transport of beach material. Beach retention structures which are spur dikes made of large stones with the root part attached to the blocking course provide relative stability of the beach and at the same



time allow passage of the transit flow of sediment that forms on the approach to the protected area.

A beach of calculated dimensions is formed from material poured into the compartments between spur dikes. Coastal protection structures – a belt or a stone berm are erected along the base of the coastal slope to increase its stability and protection during storms of rare recurrence and high surge levels.

The transit flow of sandy material along the system of structures and the beach in a local area eliminates their negative impact on the adjacent section of the coast along the sediment flow associated with bottom erosion. At the same time, the transit of sandy material under conditions of material deficiency in the sediment flow determines the minimum width of a stable beach, which is determined by the beach-holding capacity of the complex of wave-damping and beach-retaining structures, and the actual sediment flow formed on the approach to the site. The size of a stable beach can be increased by placing sand material at the approach to the protected area, that is, by reducing the deficiency of material in the sediment flow.

The construction of a stable strip of sandy beach in combination with wave-damping and beach-retaining structures and backfilling (alluvium) of beach-forming material will make it possible to solve stage-by-stage the problem of protecting eroded shores and transport highways located in the coastal zone of Kaliningrad region. First, local (emergency) areas are protected, and subsequently, an artificial beach is created within the main zone of coastal erosion along the entire northern coast from Cape Taran to the Curonian Spit inclusive. The road laid along the Curonian Spit was repeatedly flooded due to the erosion of coastal dunes and the breakthrough of surge waters in Zelenogradsk region [17].

Experimental Study's Results

The study of stability of a sandy beach was carried out on a model of a fragment of the coast of the Sambian Peninsula in the area of Pionerskaya Bay with a deficiency of material in the alongshore sediment flow. The height of the coastal slope within the site varies from 3 to 10 m. The base of the slope is partially eroded. The width of the beach strip is 10–15 m.

The slope of the underwater slope in a hundred-meter coastal strip is 0,01, and in a five-hundred-meter coastal strip it is still settling down.

On the underwater slope there are two underwater sand embankments. The first embankment is located at a distance of 50 m from the shore, has a relative height of 0,6 m and a depth above the ridge of 0,9 m; the second embankment is located at a distance of 250 m from the shore, its height is 0,7 m, and the depth at the ridge is 3,4 m.

The average long-term sea level according to observations at the Pionersky HMS is 0,07 m in the Baltic height system. The maximum level with a 1 % probability is 1,36 m abs., and the minimum level is minus 1,10 m abs. (oscillation amplitude 2,46 m).

Experimental studies in a wave basin on stability of the dumped material were carried out during a western storm with a frequency of once every 25 years at sea level with a probability of 1 %. The parameters of the waves of the western storm on the approach to the breakwater were:

- average period = 13,5 s;
- height of waves $h = 2,24$ m;
- azimuth 331 degrees.

In experimental studies on hydraulic models of lithodynamic processes occurring on sandy coasts, sand was used as sediment, the size of which corresponds to the material of the beach in nature.

Using a model in a wave basin on a vertical scale of 1:37 and a horizontal scale of 1:131, the actual relief of the coastal zone of the Pionerskaya Bay section with a length of 700 m and a width of 342 m from the base of the coastal slope to the 5,0 m isobath was built. The relief surface was built according to the installed beacons.

At a distance of 170 m from the base of the coastal slope, three fragments of an intermittent breakwater were built from six layers of tetrapods weighing 3 tons.

The elevation of the top of the crests of the intermittent breakwater was +1,70 m BS (0,34 m above the calculated maximum level of 1 % probability), and the gaps between the fragments of the intermittent breakwater at the average level were 29 m.

Four 100 m long spur dikes made of large stone weighing from 100 to 300 kg were located in the central part of the selected area. The distance between the axes of the spur dikes was 100 m. The root part of the spur dikes, is made horizontal at an elevation of +2,0 m for 15 m. Further into the sea, the ridge is lowered to an elevation of +1,0 m at the head of the spur dike.



Pic. 5. View of the model during the experiment [photo made by the authors].

Sand with an average size of 0,50 mm was poured into the compartments between spur dikes. Within the coastal strip 59 m wide, the surface of the dumped material was made 20 cm below the crest of the rockfill spur dikes, and further into the sea the layer of dumped material decreased to zero 150 m from the shore. The surface marks of the dumped material were controlled by beacons distributed over the area. Outside the spur dike, on the upstream side relative to the sediment flow and on the downstream side, the bottom topography of the model remained natural.

According to observational materials, the duration of storms passing through the study area varies from 6 to 40 hours. The average duration of storms is 23 hours. When studying a beach model in a wave basin, the duration of the storm, which corresponds to the phase of its stabilisation, is taken equal to 24 hours in reality and, accordingly, 4 hours on the model.

During the experiment, under the influence of waves, a beach began to form from the material of the original fill (Pic. 5). The main part of the material moved to the upper part of the model. A small amount of sand material was thrown over the crests of the second, third and fourth spur dikes throughout the experiment.

During first two hours of the experiment, intense erosion of the natural bottom of the model was observed to the west of the first (western) spur dike. The eroded material partially accumulated in front of the first spur dike, and the remaining part compensated for the deficiency of material in the alongshore sediment flow and went beyond the site

in transit. A decrease in the deficit of material in the transit flow of sediment and a restructuring of the profile of the filled beach under the action of waves, expressed in the massive movement of material from a depth of 2,5 m to 4,0 m to the upper and above-water part of the forming beach, caused the expansion of the beach and an increase in its elevations. At the beginning of the experiment, the width of the filled beach at a calculated level of 1,36 m within the entire area was 22 m. After two hours of the experiment (the first 12 hours of the storm in nature), the width of the beach increased in all three compartments and ranged from 38 m to 62 m.

During the last two hours of the experiment, erosion of the bottom of the model on the approach to the protected area decreased due to the depletion of sand reserves and the partial exposure of the stone-paved area. This led to an increasing shortage of material in the sediment flow. On the leeward side of the first spur dike, the beach was completely washed away, and on the windward side of the second spur dike from the west, the width of the beach was 26,6 m. Thus, in the first inter-spur dike compartment there was a sharp skew of the beach contour towards the movement of material.

In the second and third inter-spur dike compartments, a beach with a more even contour was formed, and its width was twice as wide as the width of the original fill.

Based on the results of measurements performed on the model, the volumes of relief deformations in the inter-spur dike sections and in adjacent sections of the coast were determined. In the area west of the first (western) spur dike,



erosion prevailed throughout the experiment with a gradual decrease in intensity. The volume of erosion in a 15 m wide strip only adjacent to the first western spur dike amounted to 1892 m³. It should be noted that mainly the outer low part of the bottom was eroded at levels from 0,0 m to minus 4,0 m, while the beach grew. As a result, a beach 26 m wide and 22 m long was formed in the re-entrant corner of the first spur dike, which remained until the end of the experiment.

In the first western compartment, the beach material and the bottom were partially washed away. The volume of erosion was 7452 m³. In the second inter-spur dike compartment, accumulation of material of a volume of 10443 m³ was recorded. In the third compartment, the beach accumulation amounted to 9963 m³. Sandy material also accumulated on the eastern leeward side of the fourth spur dike. 1556 m³ were deposited here.

The total volume of sandy material within the protected area with a length of 300 m along the axes of the outer spur dikes during the period of the estimated storm generally increased by 13151 m³. Consequently, the proposed system of wave-damping and beach retention structures ensures the stability of the beach.

It should be noted that on the underwater slope in the area of the heads of the spur dikes of the second and third inter-spur dike compartments and further to the breakwaters, deformation of the bottom during the entire experiment was insignificant, as well as outside the breakwaters. The wave, passing through the gaps of the intermittent breakwater, bends around its fragment protruding from the water and two elements of the wave meet in the water area behind the breakwater, forming a new wave close in height to the original one. The meeting point of two wave elements deviates from the middle of the breakwater fragment depending on the angle of approach of the waves. As a result of this effect, the height of the beach along the abrasion coast changed from a minimum of 2,0 m in the zone of divergence of wave rays to a maximum of 3,60 m in the convergence zone.

CONCLUSIONS

Experimental studies using a physical model of a coast with a deficiency of material in the alongshore sediment flow showed that a complex of wave-damping and beach-retaining structures in combination with dumping of material makes

it possible to create a local stable wave-damping sandy beach that provides protection to the coast and transport highways and other structures located in the coastal zone.

The experiments performed show the fundamental possibility of creating a local sustainable sandy beach on the northern coast of Kaliningrad region. The research results can be extended to other coastal sections of roads and railways. When protecting a specific area, it is necessary to search for the optimal size and layout of wave-damping and beach-retaining structures, which allows solving the problem at minimal cost.

Since there are still many unsolved problems in the field of protection of transport infrastructure situated on seashore with sand drift, the relevant research should be continued.

Thus, balanced assessment of transport of sand deposits in coastal zone is still among main problems. Most reliable description of morphodynamic processes and transport of sand deposits is made with mathematical models in [9; 19], which is confirmed by the data of field observations [15; 16; etc] and the research proposed in this work. Considering recent successful developments in the field of numerical models of the relief dynamics and application of models described in [9; 19], further research on those issues should be continued with the help of the methods of mathematical simulation.

REFERENCES

1. Barinov, M. F., Smeshko, V. A. Development of proposals for prevention of emergency situations caused by erosion of the road surface of federal highways [*Razrabotka predlozhenii po preduprezhdeniyu chrezvychaynykh situatsii, vyzvannykh razmyvom dorozhnogo polotna avtomobilnykh dorog federalnogo znacheniya*]. In: *Problems and ways to improve the conduct of emergency rescue operations during the liquidation of emergency situations: Proceedings of XXXIII International Scientific and Practical Conference*, Khimki, March 01, 2023. Khimki, Academy of Civil Defence of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Disaster Relief named after Lieutenant General D. I. Mikhailik, 2023, pp. 18–21. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50480381&pf=1>. Last accessed 26.06.2023. EDN: FHDLOK.
2. Tlyavlina, G. V., Yaroslavl'tsev, N. A., Petrov, V. A., Tlyavlin, R. M. On the methods of protecting transport structures on open sandy shores of inland seas [*O metodakh zashchity transportnykh sooruzhenii na otkrytykh peschanykh beregakh vnutrennikh morei*]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2015, Iss. 6, pp. 14–16. EDN: SGDDMX.
3. Saratnikova, Yu. V. Current issues of coastal environmental management of the northern coast of Kaliningrad region [*Aktualnye voprosy beregovogo prirodoopol'zovaniya severnogo poberezh'ya Kaliningradskoi oblasti*]. *Molodoi ucheniy*, 2019, Iss. 3 (241), pp. 126–129. EDN: VSBVNZ.

4. Mikhnevich, G. S., Loseva, V. M. Classification of geological and engineering-geological factors of environmental risk in the coastal zone of Kaliningrad region [Klassifikatsiya geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh faktorov ekologicheskogo riska v pribrezhnoi zone Kaliningradskoi oblasti]. In: Geospatial studies of social and natural systems: theory and practice: collection of articles. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Chuvash State University named after. I. N. Ulyanov», Cheboksary, Sreda Publishing House LLC, 2019, pp. 115–123. DOI: 10.31483/r-33276.

5. Boldyrev, V. L. Emergency situation on Kaliningrad coast of the Baltic Sea [Avariinaya obstanovka na Kaliningradskom poberezhie Baltiiskogo morya]. *GeoRisk*, 2009, Iss. 1, pp. 32–34. EDN: KTZOPL.

6. Ryabkova, O. I., Levchenkov, A. V. Studying the coast of the Sambian Peninsula: the contribution of German, Soviet and Russian scientists [Izucheniye poberezhia Sambiiskogo poluostrova: vklad nemetskikh, sovetских i rossiiskikh uchenykh]. *Vestnik Baltiiskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2016, Iss. 3, pp. 44–70. EDN: XBOEQB.

7. Bogdanov, N. A., Soverzhaev, V. A., Zhindarev, L. A., Agapov, A. P. Evolution of ideas about dynamics of south-eastern coasts of Baltic [Evolutsiya predstavlenii o dinamike yugo-vostochnykh beregov Baltiiskogo morya]. *Geomorfologiya*, 1989, Iss. 2, pp. 62–69. EDN: QNQRCE.

8. Babakov, A. N. Evolution of ideas about alongshore sediment flows in the south-eastern Baltic [Evolutsiya predstavlenii o vdolberegovykh potokakh nanosov v yugo-vostochnoi Baltike]. In: Lithodynamics of the bottom contact zone of the oceans. Proceedings of the international conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V. V. Loginov [Litodinamika donnoi kontaktnoi zony okeanov. Materialy mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya V. V. Loginova]. Moscow, GEOS publ., 2009, pp. 56–58.

9. Leontiev, I. O. Beach drift along the south-eastern Baltic shore. *Geomorfologiya*, 2015, Iss. 1, pp. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-70-76>.

10. Belova, P. M., Korzinin, D. V. Mathematical modelling of alongshore sediment flow off the coast of the Baltic Spit [Matematicheskoe modelirovaniye vdolberegovogo potoka nanosov u poberezhia Baltiiskoi kosy]. In: Comprehensive studies of the World Ocean: Proceedings of VI All-Russian Scientific Conference of Young Scientists, Moscow, April 18–24, 2021. Moscow, Institute of Oceanology named after. P. P. Shirshov, Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 41–42. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46522868&pf=1>. Last accessed 26.06.2023.

11. Korzinin, D. V., Shtremel, M. N. Dynamics of the underwater bank of a sandy shore under the influence of storm waves according to monitoring observations [Dinamika podvodnogo vala peschanogo berega pod vozdeystviem shormovogo volneniya po dannym monitoringovykh nablyudenii]. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*, 2020, Vol. 36, Iss. 4 (214), pp. 424–436. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-4-424-436.

12. Stont, Zh. I., Bobykina, V. P. «Diving cyclones» and erosion of the banks of the Curonian Spit (Kaliningrad region) [«Nyryayushchie tsiklony» i razmyv beregov Kurshkoi kosi

(Kaliningradskaya oblast)]. In: *XXIX Coastal Conference: Field and theoretical research – into the practice of coastal management: Proceedings of the All-Russian conference with international participation*, Kaliningrad, April 18–24, 2022. Kaliningrad, Immanuel Kant Baltic Federal University, 2022, pp. 151–153. EDN: VPEPKC.

13. Karmanov, K. V., Burnashov, E. M. Analysis of spatio-temporal variability of the characteristics of modern dynamics of the sea coast in Kaliningrad region [Analiz prostranstvenno-vremennoi izmenchivosti kharakteristik sovremennoi dinamiki morskogo berega v Kaliningradskoi oblasti]. In: *Arctic coasts: the path to sustainability: Proceedings of XXVII International Coastal Conference*, Murmansk, September 24–29, 2018. Chief ed. E. A. Rumyantseva. Murmansk, Murmansk Arctic State University, 2018, pp. 88–91. EDN: VKNZKR.

14. Masurov, P. S., Velikanov, N. L. Dynamics of changing the beach width in separate areas of the seacoast of Zelenogradsk. *Journal of youth science*, 2020, Iss. 4 (26), P. 10. DOI: 10.46845/2541-8254-2020-4(26)-10-10.

15. Belov, N. S., Shaplygina, T. V., Danchenkov, A. R., Volkova, I. I. Assessing the effectiveness of restoration of the foredune after a storm (using the example of the foredune section on the 14th km of the Curonian Spit National Park) [Otsenka effektivnosti vosstanovleniya avandyuny posle shtorma (na primere uchastka avandyuny na 14-m km natsionalnogo parka «Kurshskaya kosa»)]. In: *Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the Curonian Spit National Park: Collection of scientific articles. Vol. 17. Federal State Budgetary Institution «National Park «Curonian Spit»*. Kaliningrad, Immanuel Kant Baltic Federal University, 2021, pp. 95–103. EDN: QTCUOS.

16. Bobykina, V. P., Stont, Zh. I., Kileso, A. V. Deformations of the sea coast of the Curonian Spit (South-Eastern Baltic) under the influence of storms in the autumn–winter season of 2018–2019 [Deformatsii morskogo berega Kurshskoi kosi (Yugo-Vostochnaya Baltika) pod vozdeystviem shtormoov osenne-zimnego sezona 2018–2019 godov]. *Vestnik Baltiiskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2021, Iss. 2, pp. 73–83. [Electronic resource]: https://journals.kantiana.ru/upload/iblock/fd5/6_73-83.pdf. Last accessed 26.06.2023.

17. Zenyauskaite, A. A. Coastal protection structures as a method of protecting the seacoast of Kaliningrad region [Beregozashchitnie sooruzheniya kak metod zashchity morskogo poberezhia Kaliningradskoi oblasti]. *Akademicheskaya publitsistika*, 2020, Iss. 4, pp. 579–593. EDN: BUOQSI.

18. Rybak, O. L., Suprunov, L. I. Deformation of a sandy coastal slope under the influence of long waves [Deformatsiya peschanogo beregovogo sklona pod deystviem dlinnykh voln]. *Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Transport Construction*, Moscow, 1978, Iss. 106: Protection of sea shores, pp. 32–39.

19. Leontiev, I. O. Coastal dynamics: waves, streams, sediment flows [Pribrezhnaya dinamika: volny, techeniya, potoki nanosov]. Moscow, GEOS publ., 2001, 272 p. ISBN 5-89118-211-4. ●

Information about the authors:

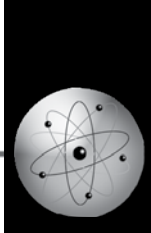
Tlyavlina, Galina V., Ph.D. (Eng). Head of the Laboratory of Modelling, Calculations and Standardisation in Hydrotechnical Construction of Sea Shore Research Centre, a subdivision of JSC Central Research Institute of Transport Construction, Sochi, Russia, TlyavlinaGV@Tsnis.com.

Tlyavlin, Roman M., Ph.D. (Eng). Deputy Director General of the Sea Coasts Scientific Research Centre, a subdivision of the Central Research Institute of Transport Construction, Sochi, Russia, TlyavlinRM@Tsnis.com.

Yaroslavtsev, Nestifor A., Ph.D. (Eng). Leading Researcher of the Sea Coasts Scientific Research Centre, a subdivision of the Central Research Institute of Transport Construction, Sochi, Russia, demmi8@mail.ru.

Article received 19.04.2023, approved 23.11.2023, accepted 04.12.2023





Optimisation of the Design of an Underwater Floating Transport Structure



Ivan M. DEMIDOV



Vladimir Yu. POLIAKOV

**Ivan M. Demidov ¹,
Vladimir Yu. Poliakov ²**

^{1,2} Russian University of Transport Moscow, Russia.

✉ ² pyy55@mail.ru.

¹ Russian Science Citation Index SPIN-code:
3365-6643.

² Scopus Author ID: 57201723559,
Web of Science ID: AAS-4866-2021.

ABSTRACT

The article considers the optimisation of internal forces from constant loads of the underwater floating transport structure to reduce the local effects of internal forces.

This new type of structures can be used at significant depths of intersected water obstacles. Such structures will be in demand for the construction of underwater crossings as part of transcontinental transport corridors such as North – South, Japan – Europe and others.

The purpose of the proposed study is to optimise the design to solve the problem of overloads of structural elements. To solve this problem, methods of structural mechanics and numerical

experiment using the finite element method were used. Optimisation makes it possible to reduce bending moments in the zones of the edge effect when using a radial fastening scheme by several times. This will allow the use of unified sections of the structure. The article substantiates optimisation methods and their verification using the finite element method.

The article also discusses the problems of system survivability of a structure in the event of failure of one or two anchorages. Bending moments increase significantly, but the traffic could be continued since the load from the train and the sum of constant loads have opposite signs.

Keywords: transport construction, submerged floating tunnel, SFT, optimisation, radial fastening, deep-sea obstacles.

For citation: Demidov, I. M., Poliakov, V. Yu. Optimisation of the Design of an Underwater Floating Transport Structure. World of Transport and Transportation, World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 192–203. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-4>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

Underwater floating transport tunnels represent a new type of transport structures with several significant advantages [1]. The most important of them are the possibility of construction at significant water depths, as well as compensation for the weight of the structure by the pushing Archimedean force for positive buoyancy. Positive buoyancy, which prevents diving to a depth higher than the calculated one, should also be provided during the passage of the rolling stock. Therefore, a temporary load from the train will probably reduce the internal forces in the elements of the structure.

It is well known, today the maximum water depth at the site of the construction of bridge supports does not exceed 60 m (Akashi-Kaike Bridge [1]).

Possible places of application of such structures are the Laperouse Strait with depths of more than 50 m (the project for the creation of a transcontinental railway Europe – Japan¹ [2]), the Strait of Hormuz with depths up to 100 m, as a continuation of the North – South corridor (Ashgabat Agreement²) (Pic. 1 b), the Taiwan Strait with depths³ of more than 100 m.

The possibilities of using underwater floating structures have been repeatedly considered worldwide: Funk Bay in Japan [3], Hainan Strait in China [4, 5], a floating tunnel through the Hogsford in Norway [6], a feasibility study of the structure at the crossing of the Strait of Messina [7]. Insufficient development of scientific problems prevented the implementation of these projects.

The possibility of using such a structure through the neck of the White Sea (Pic. 1 a, Pic. 2) with a length of about 43 km and depths of more than 100 m is considered in this article as an example. This line is promising for the transportation of export cargoes from Perm Krai [region] to Murmansk (potash fertilizers), as it will reduce the transportation distance by ~ 1000 km (by 30 %). It is known, the collapse of the

bridge over the Kola River in 2020 led to a halt in supplies and the cessation of railway communication for four months⁴ along the only line of the Oktyabrskaya railway. Therefore, the construction of a duplicate line through the neck of the White Sea is relevant. We also note the fundamental possibility of building such structures through Gibraltar Strait. with depths up to 1181 m and the Strait of Messina (Pic. 3), etc.

All the mentioned crossings have depths significantly exceeding the record depths of the unique Akashi-Kaike Bridge.

Despite the obvious advantages of SFT (submerged floating tunnel) structures, their design has not progressed beyond the feasibility study due to serious scientific problems. One of these problems is significant and irregular bending moments.

The *objective* of the proposed study is to optimise the design to solve the problem of overloads. To solve this problem, *methods* of structural mechanics and numerical experiment using the finite element method were used.

RESULTS

Optimisation of Bending Moments in the Radial Fastening Scheme from Constant Loads

The use of underwater floating tunnels at great depths is difficult due to the complexity of installing a large number of anchorages, although today drilling and well construction technologies are used at depths up to 3000 m [1]. Let us consider the use of radial anchor cables connected in a bunch (Pic. 4) to reduce the number of anchor attachments and to overcome obstacles at the bottom (significant depths or unsuitable soils) using such a design. Due to the compensation of the load from its own weight by the Archimedean force, the l_m span can significantly exceed the record 1100 m for cable-stayed bridges.

In Pic. 5 $l_6 = \frac{h}{\cos \alpha}$ is the length of the inclined cable, where α is the angle of inclination of the cable from the vertical, h is the length of the vertical cable.

In this analytical model (Pic. 5), to minimise the moment, it is possible to achieve the same vertical movement of the horizontal stiffening

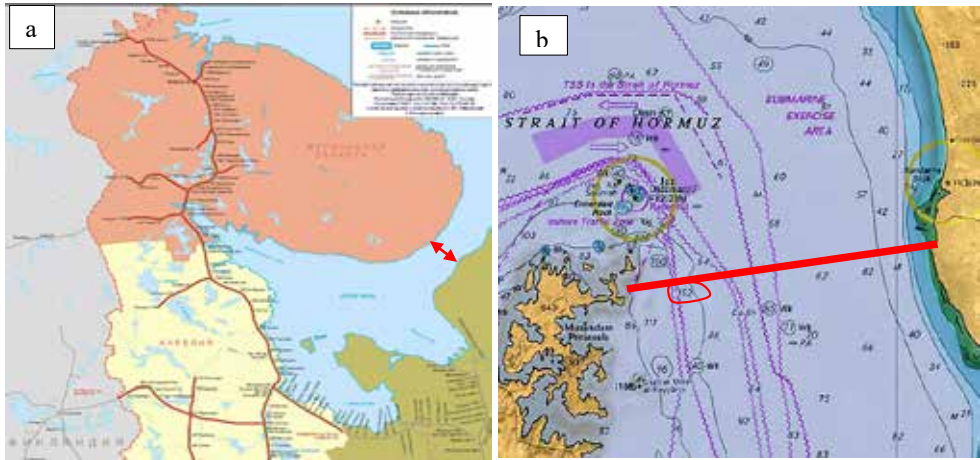
¹ The road to Japan: Russia has proposed connecting Sakhalin and Hokkaido with a transport crossing. [Electronic resource]: <https://russian.rt.com/russia/article/427017-most-sakhalin-hokkaido>. Last accessed 20.06.2023.

² Panfilova, V. Russia and Central Asian countries reset relations. Nezavisimaya Gazeta, 16.10.2022. [Electronic resource]: https://www.ng.ru/cis/2022-10-16/1_8566_asia.html?ysclid=lm10ogwczd418645606. Last accessed 20.06.2023.

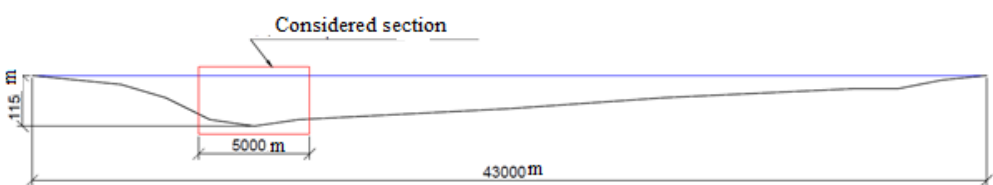
³ [Electronic resource]: <https://www.worldatlas.com/straits/taiwan-strait.html>. Last accessed 20.06.2023.

⁴ The renewed railway bridge over Kola river has been opened in Murmansk region. [Electronic resource]: <https://tass.ru/ekonomika/9567107?ysclid=lfxsugptkg929973454>. Last accessed 08.04.2023.

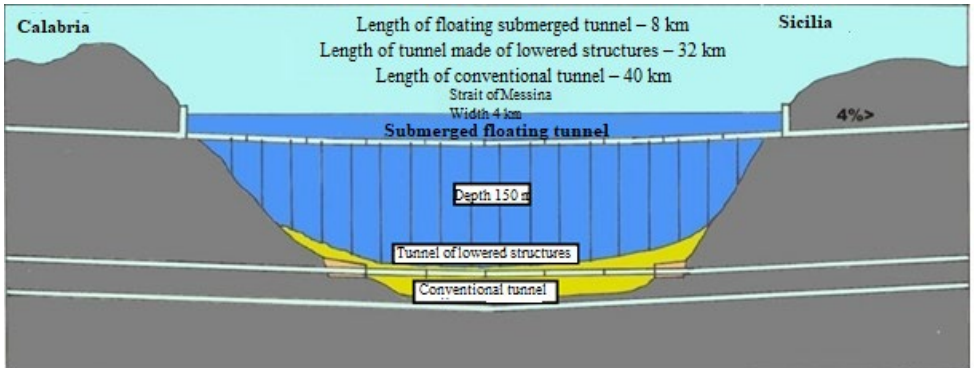




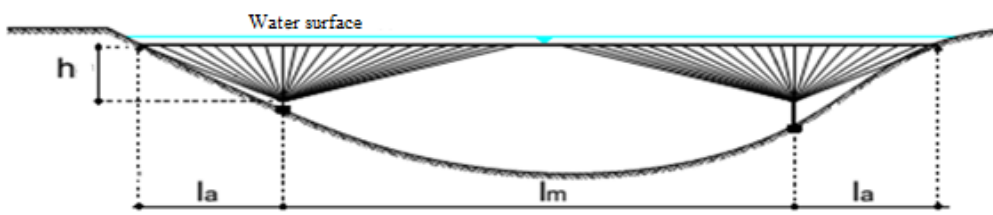
Pic. 1. The intersection of the neck of the White Sea (a) [Electronic resource]: <https://glavtrans38.com/poleznaya-informatsiya/karta-zheleznikh-dorog-oktyabrskaya-zh-d/>. Last accessed 20.06.2023.], the Strait of Hormuz (b) [Electronic resource]: <https://blog.geogarage.com/2019/05/strangethings-are-afoot-in-strait-of.html> Last accessed 20.06.2023.], where the depths exceed 100 m.



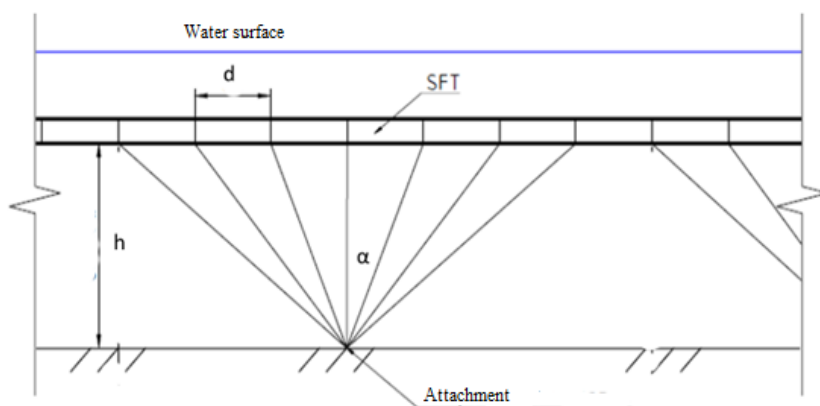
Pic. 2. The outline of the bottom of the neck of the White Sea in the station of Cape Inca [developed by the authors].



Pic. 3. Comparison of a submerged floating tunnel with other structures [1].



Pic. 4. Anchor cables in the radial scheme [8].



Pic. 5. The scheme of radial attachment at great depths [developed by the authors].

girder of the structure by changing the stiffness of the anchor cables depending on their angle of inclination and depth. By constant load, we will understand the sum of the loads from weight and the distributed Archimedean force. Pic. 6 shows a deformed diagram of some arbitrary node of the structure from the total constant load, while bending deformations will be considered small compared to cable deformations.

Effort in inclined tracks is

$$F_6 = \frac{F}{\cos \alpha},$$

where F is the vertical component of the force in the cable.

We take $\alpha' \approx \alpha$ due to the fact that $F_n / A_n \ll E$ and $\Delta'_n \ll l_n$, where F_n is the force in the n -th cable, A_n is its cross-sectional area, E is the elastic modulus of the cable, Δ'_n is the deformation of the cable, l_n is the length of the cable before the load is applied.

Vertical projection of the longitudinal deformation of the Δ'_n n -th inclined cable from the application of the load:

$$\Delta_n = \frac{\Delta'_n}{\cos \alpha_n}.$$

To ensure equality of vertical movements of vertical and inclined cables, we assume

$$\Delta_0 = \Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n,$$

where n is the number of the cable in the girder,

$$\Delta_0 = \frac{F \cdot h}{EA} - \text{deformation of the vertical cable,}$$

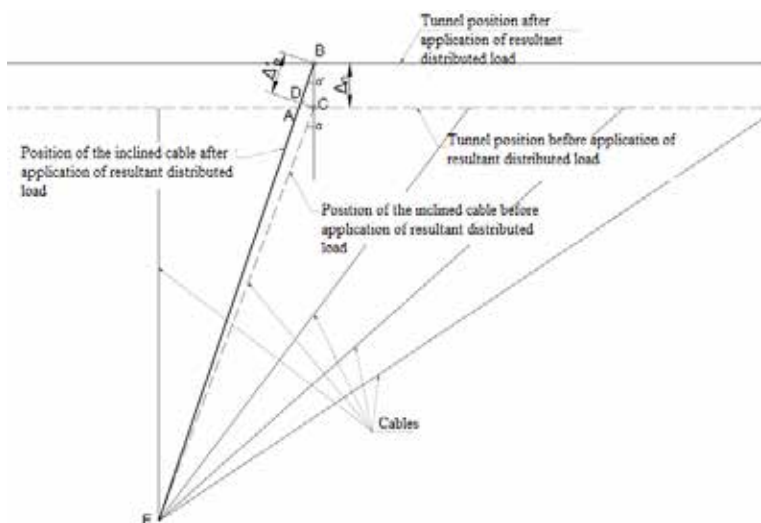
$$\Delta'_n = \frac{F_n l_n}{EA_n} - \text{deformation of the } n\text{th inclined}$$

cable,

Δ_n is the vertical projection of the inclined cable deformation,

E , A is the modulus of elasticity and the cross-sectional area of the vertical cable.

For $\Delta_0 = \Delta_n$:

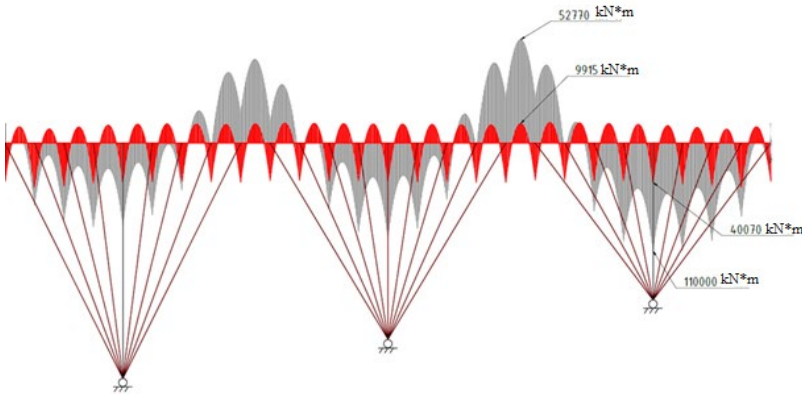


Pic. 6. A fragment of a deformed analytical model from a constant load [developed by the authors].

Table 1

Cross-sectional areas of cables for the considered model [developed by the authors]

Depth h_k , m	Angle of inclination α_{nk} , degrees	Initial cross-sectional area of cables, m ²	Cross-sectional area of cables after optimization according to the formula (3)
160	0.00	0.0683	0.0683
160	10.62	0.0683	0.0719
160	20.56	0.0683	0.0832
160	29.36	0.0683	0.1032
160	36.87	0.0683	0.1334
200	0.00	0.0683	0.0854
200	8.53	0.0683	0.0883
200	16.70	0.0683	0.0972
200	24.23	0.0683	0.1126
200	30.96	0.0683	0.1354
240	0.00	0.0683	0.1025
240	7.12	0.0683	0.1049
240	14.04	0.0683	0.1122
240	20.56	0.0683	0.1248
240	26.56	0.0683	0.1432



Pic. 7. Diagrams of bending moments in the structural stiffening girder from constant loads before and after optimization [developed by the authors].

$$\frac{F \cdot h}{EA} = \frac{F_n \cdot l_n}{EA \cos^3 \varphi},$$

$$\frac{Fl_0}{EA} = \frac{F}{EA_n \cos \alpha} \cdot \frac{l_0 \cos \alpha}{\cos^3 \varphi},$$

where A_n is the cross-sectional area of the inclined cable.

We obtain an equation providing the same vertical displacement of the structural stiffening girder for one fan attachment node:

$$EA_n = \frac{EA}{\cos^3 \varphi}. \tag{1}$$

Conditions for ensuring equality of vertical displacements of the adjacent k -th bunch (Fig. 7) with a different attachment depth h_k and cross-sectional area A_k of the vertical cable:

$$\begin{aligned} \Delta_k &= \Delta_0, \\ \frac{Fl_k}{EA_k} &= \frac{Fh}{EA}, \\ (EA)_k &= \frac{EA h_k}{h}, \end{aligned} \tag{2}.$$

where h_k/h is the ratio of the attachment depth k of the bunch to the initial one.

Table 2

**Results of optimisation of bending moments in the stiffening girder
[developed by the authors]**

Parameter	Before optimisation	After optimisation
Minimum moment (modulus), kNm	52770	9915
Maximum moment, kNm	110000	40070
Standard deviation, kNm	24600	8890

Substituting stiffness $(EA)_k$ of the vertical cable of the neighbouring bunch from equation (2) to equation (1) instead of the stiffness of the vertical cable EA , we obtain an equation that ensures the same vertical movement of the inclined cables on the k -th bunch:

$$(EA)_k = \frac{EA h_k}{h \cos^3 \alpha_{nk}}, \quad (3)$$

where α_{nk} is the angle of inclination of the n th cable in the k -th bunch. Note that the optimal solution does not depend on the parameter EJ of the stiffening girder, which can be any.

In the case of vertical cables, the optimisation task is greatly simplified.

To verify the developed method, we will perform a numerical experiment using the Katran software package based on the finite element method. To change the stiffness of the cables, we will change the cross-sectional area of the cables. The various options for the distribution of the cross-sectional area of the cables are shown in Table 1.

Table 2 shows statistical optimisation results, from which it can be seen that the minimum bending moment modulus along the length of the structure has been reduced by more than five times, the maximum bending moment has been reduced by 2.75 times, which leads to a significant reduction in material consumption. The irregularity of the moments, as can be seen from Pic. 7, is significantly reduced, which is demonstrated by a 2.8-fold decrease in the standard deviation (Table 2). This alignment of the values of bending moments will allow the use of unified sections of the structural stiffening girder.

Edge Effects on the Near-Portal Areas

The near-portal sections of the structure (near the shores of the water barrier) are located at shallow depths. In this case, the use of a radial scheme is not justified. Consider a structure with a vertical arrangement of anchor cables in the longitudinal direction. In the transverse direction, the angle of inclination of the cables to the

vertical is 45° . In this case, the rigidity of the tunnel anchors from ascent is easily determined to ensure a minimum of bending moments outside the portal sections. The plot of the moments in the stiffening girder (Pic. 8) has a significant edge effect in the coastal anchorage zone in the form of a rigid support that does not allow any movement of the stiffening girder at the place of attachment to the portal or a traditional underground tunnel.

Let's set the task of reducing bending moments in the coastal anchorage zone to a certain prescribed value. To solve this problem, we will adjust the stiffness of the cables that keep the underwater floating tunnel from surfacing in the near-portal areas.

Let's imagine a structural stiffening girder as a beam on an elastic base. The equation of the beam axis on an elastic base is

$$(EJv(x))'''' + k(x)v(x) = q(x), \quad (4)$$

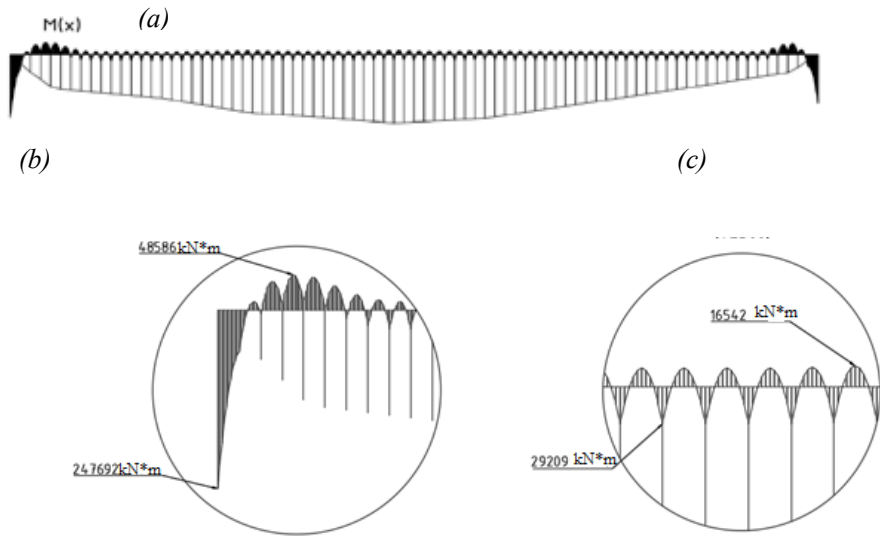
where $v(x)$ is a function of the deformed axis of the stiffening girder.

In this case, the first term represents the reaction of the structure to the effect of the total constant load $q(x)$ due to bending of the girder, the second – due to deformation of the base (cables). From a technological point of view, it is advisable to assume $EJ = const$, the possibility of this is confirmed by the optimization results in paragraph 1 (according to expression (3), the optimal solution does not depend on EJ). In addition, for $EJ = const$, the sum of constant loads $q(x) = const$, since the pushing Archimedean force does not depend on x , but only on the gross cross-sectional area of the stiffening girder. Since the size of the approximation of the inner outline of the tunnel is unchanged in length, and with a decrease in the variability of the bending moment, it is possible to ensure the constancy of the area and moment of inertia of the reduced section, then

$$EJv(x)IV + k(x)v(x) = q. \quad (5)$$

The stiffness of the base $r_i(x)$ is due to the stiffness of the cables during their longitudinal deformation:





Pic. 8. Plot of moments in the structural stiffening girder (a), in the zone of the edge effect (b) and outside it (c) before optimisation [developed by the authors].

$$r_i(x) = \frac{EA(x)}{l(x)}, \quad (6)$$

where E , $A(x)$ is the modulus of elasticity and the cross-sectional area of the cables,

$l(x)$ is the length of the cables, which depends on the depth h ,

J is the moment of inertia of the girder section relative to its horizontal axis.

Then $k(x) = r_i(x)/d$, where d is the distance between the cable attachment points to the girder, and $d = \text{const}$ for technological reasons.

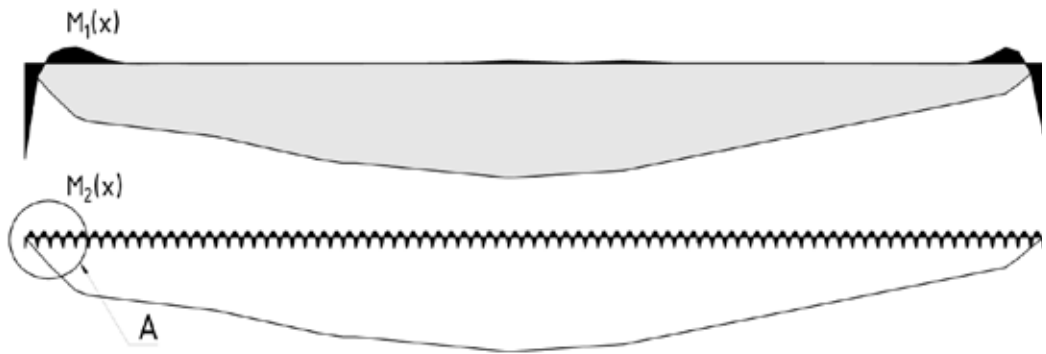
Pic. 8. Plot of moments in the structural stiffening girder (a), in the zone of the edge effect (b) and outside it (c) before optimisation [developed by the authors].

Based on equation (5), we obtain:

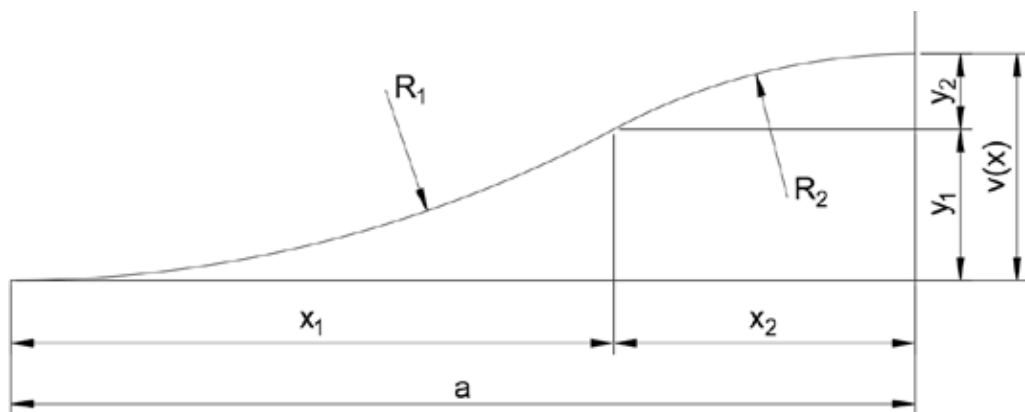
$$r_i(x) = dq/v(x) - dEJxv(x)''''/v(x). \quad (7)$$

The practice of modelling the stress-strain state of a structure shows that the second term of sum of the right part (7) is 2–3 orders of magnitude smaller than the first term of sum with significant rigidity of the girder of the structure due to the need to comply with the internal clearance. In addition, to maximise the reduction of bending moments in the zone of the edge effect, and, therefore, to reduce the reaction from bending to the action of constant loads, this second term of sum should be neglected in order to avoid a significant reaction from bending, mainly shifting the perception of constant loads to anchor cables. Then, for numerical experiments to determine the stiffness function $r_i(x)$, the expression can be used:

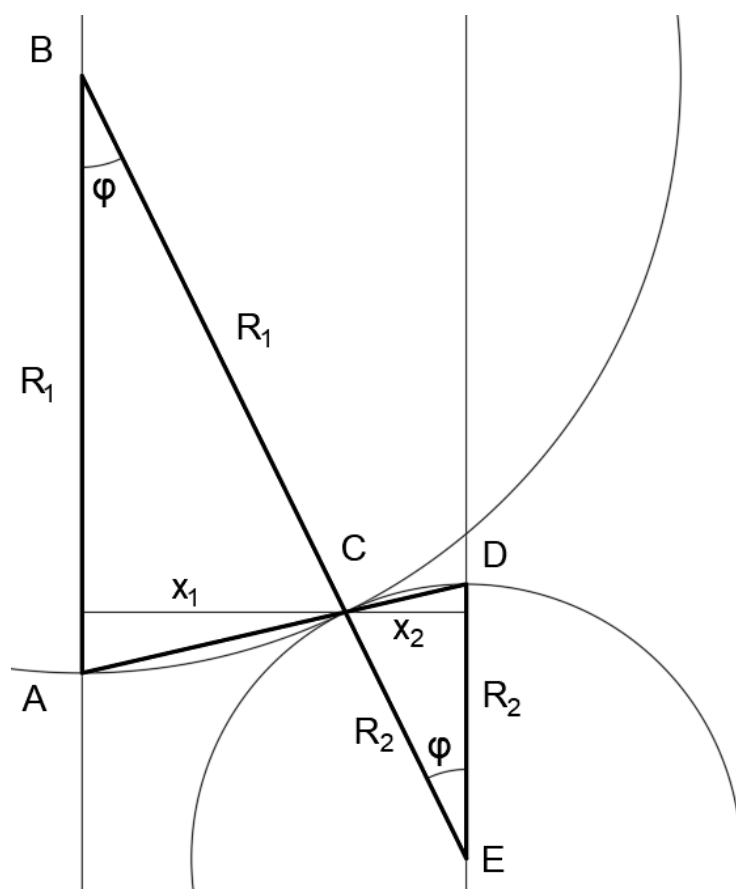
$$r_i(x) = \frac{d \cdot q}{v(x)}. \quad (8)$$



Pic. 9. Plots of moments in the presence of the edge effect ($M_1(x)$) and in its absence ($M_2(x)$) [developed by the authors].



Pic. 10. Deformed axis of the stiffening girder near the shore anchorage to control the moment in the zone of the edge effect [developed by the authors].



Pic. 11. The required geometry of the deformed circuit to ensure the constancy of M_1 [developed by the authors].

The bending moment function $M(x)$ can be represented as the sum (Pic. 9)

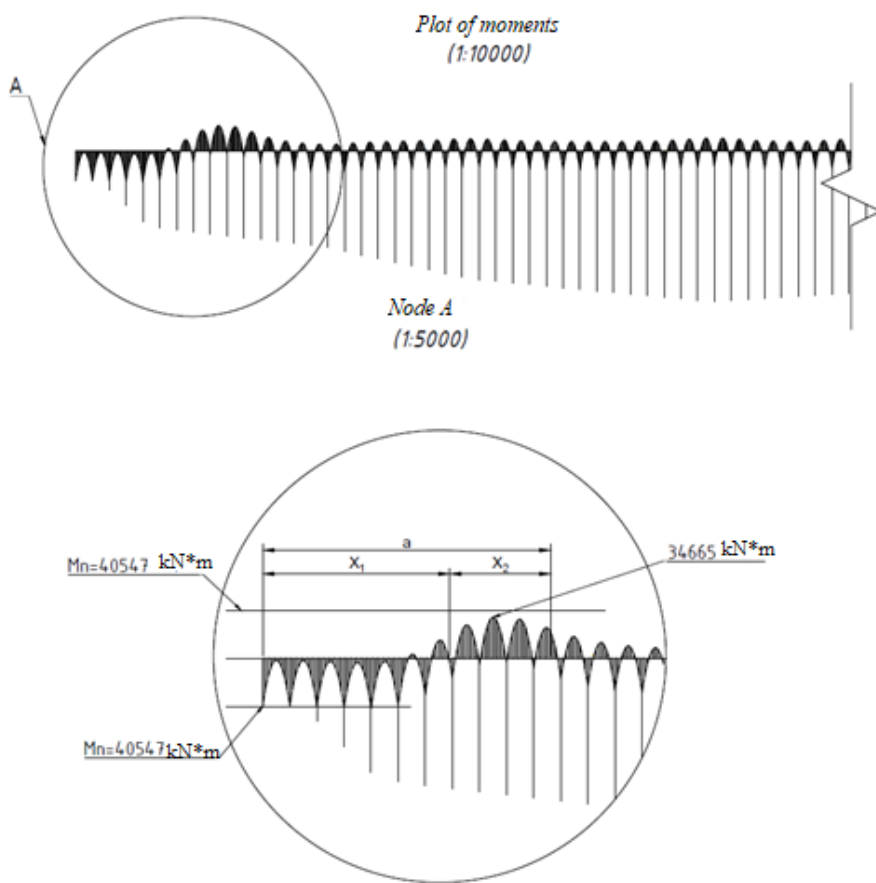
$$M(x) = M_1(x) + M_2(x), \quad (9)$$

where $M_1(x)$ describes the edge effect of shore anchoring,

$M_2(x)$ is a function of the moment, where the edge effect is insignificant.

To reduce the edge effect near the fixing points of the structural stiffening girder, we require $M_1(x)$ to be a constant bounded function (as it happens outside the edge effect zone, where M_1 is vanishing to 0). This means that the deformed axis of the girder is a circle of radius R_1 (Pic. 10) throughout x_1 .





Pic. 12. Plot of moments when optimising cables of variable stiffness are used [developed by the authors].

Table 3
Parameters of a typical cable before optimisation [developed by the authors]

Name	Value
Modulus of elasticity of the cable, MPa	201000
Number of cables in the attachment unit, pcs	2
Cross-sectional area of 2 cables before optimisation, m ²	0,0693
Section parameter of 2 cables, EA, H	1,39E+10

Then the equation of the circle over x_1 will have the form

$$R^2 = x^2 + (v(x) - R)^2. \quad (10)$$

After elementary transformations, we obtain

$$(v(x) - R)^2 = R^2 - x^2. \quad (11)$$

Or, solving the quadratic equation $v(x)^2 - 2v(x)R + x^2 = 0$, we get

$$v(x) = \pm \sqrt{R^2 - x^2} + R. \quad (12)$$

The «+» sign in (12) refers to the section of the circle with positive curvature in the right coordinate system corresponding to the section

x_1 , and the «-» sign refers to the section with negative curvature x_2 .

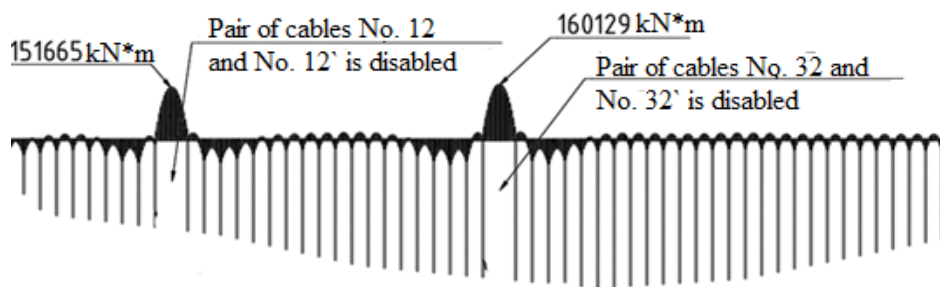
Let's set $v(x)$ on the first part of the variable stiffness section such that $|M(x)|$ did not exceed a certain limiting moment M_p , i. e. $|M(x)| \leq M_p$, $x \in (0; x_1)$. Then, to consider this requirement, we will control the function $M_1(x)$ and take it equal

$$M_1(x) = M_n - \frac{qd^2}{12} = \text{const}, \text{ where } d \text{ is the distance}$$

between the cable attachment points on the section x_1 (Fig. 8). In this case, $v(x)$ is the arc of a circle $v(x) = -\sqrt{R_1^2 - x^2} + R_1$, $0 < x < x_1$.

Let's set $v(x)$ on the second part of the variable stiffness section in the same way as the first one, but with negative curvature. To consider the requirement $|M(x)| \leq M_p$, $x_1 < x < x_2$, we assume $|M_1(x)| = M_n - \frac{qd^2}{12}$.

a is the length of the variable stiffness section $a = x_1 + x_2$, where x_1 and x_2 are the lengths of the first and the second parts of the variable stiffness section.



Pic. 13. Redistribution of efforts in an emergency situation of failure of two anchor cables simultaneously in each section [developed by the authors].

It is known⁵ $\frac{1}{R} = \frac{M}{EJ}$, from here we find R_1 for a given moment M_1 :

$$R_1 = \frac{EJ}{M_{1x1}}, \quad (13)$$

where $R_1 = \frac{EJ}{M_{1x1}}$ is the radius of the curve in the first section. (14)

Accordingly, $R_2 = \frac{EJ}{M_{1x2}}$ the radius of the curve in the second section. (15)

From here

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{M_{1x1}}{M_{1x2}} = P. \quad (16)$$

Let's show that $R_1/R_2 = x_1/x_2$.

Let's construct (Pic. 11) two vertical segments AB and DE, which are parallel. BC and CE lie on the same straight line since C is the point of contact of two circles. From the fact that AB || DE, it follows that the internal intersecting angles φ are equal, and ϕ is the central angle for the half-chord x_1 and x_2 . Triangles ABC and CDE are isosceles, with sides BC/CE = BA/DE = $1/R_2$.

Therefore, triangles ABC and CDE are similar due to the proportionality of the two pairs of sides and the equality of angles between them. Now consider the triangles ABC and CDE. These triangles are also similar, since all the corresponding angles of the triangles are equal. Therefore.

$$R_1 / R_2 = x_1 / x_2 = M_{1x1} / M_{1x2} = P \quad (17)$$

In this case, the values M_{1x1} и M_{1x2} are determined for reasons of M_p limit values (see above).

So, the function of the deformed axis of the structure in the near-portal zone has the form:

⁵ Smirnov, A. F., Alexandrov, A. V., Monakhov, N. I. Strength of materials: Textbook. Ed. by A. F. Smirnov. Moscow, Higher School publ., 1975, 480 p. [Electronic resource]: <https://bigenc.ru/b/soprotivlenie-materialov-b78c1d?ysclid=lmudtw94vu826302865>. Last accessed 25.05.2023.

Table 4
Optimised parameters of two cables in the node (following equation (21))

N	Vertical stiffness of cables, H/m*
1	4,884E+09
2	1,221E+09
3	5,426E+08
4	2,805E+08
5	1,903E+08
6	1,323E+08
7	9,728E+07
8	7,858E+07
9	6,946E+07
10	6,547E+07
11	6,401E+07
12	6,265E+07
13	6,135E+07

Table 5
Results of optimisation of bending moments in the structural stiffening girder [developed by the authors]

Parameter	Before optimisation	After optimisation
Minimum moment (modulus), kNm	48 586	34 665
Maximum moment, kNm	247 692	40 547

$$v(x) = -\sqrt{R_1^2 - x^2} + R_1, \quad x \in (0; x_1), \quad (18)$$

$$v(x) = \sqrt{R_2^2 - (x-a)^2} + R_2, \quad x \in (x_1; a), \quad (19)$$

$$\text{where } x_1 = \frac{a(x)}{1+P},$$

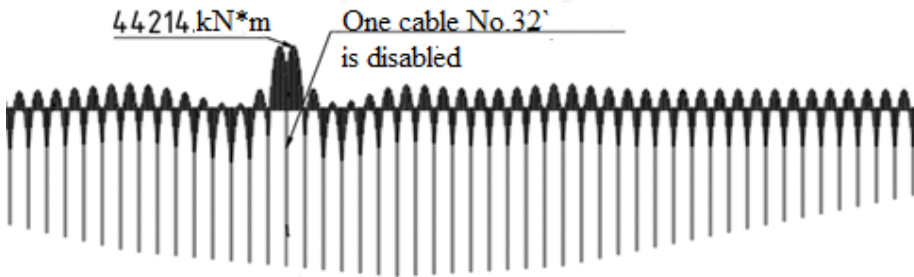
$$a(x) = \sqrt{R_1^2 - \left(\frac{h(x)dq}{EA(1+P)} - R_1 \right)^2 (P+1)}, \quad (20)$$

A is the constant cross-sectional area of the cable before optimization.

Knowing the deflection function (18) and (19), we will find the required rigidity of fastening with cables to reduce the edge effect:

$$r_i(x) = \frac{EA(x)}{l(x)} = \frac{dq}{v(x)}. \quad (21)$$





Pic. 14. Redistribution of efforts in an emergency of failure of one anchor cable [developed by the authors].

Table 6
Changes in longitudinal forces in cables in
two emergency situations
[developed by the authors]

Cable number	№ 31	№ 32	№ 33
Force to breakage, kN	7313	7314	7318
The force after breaking two cables, kN	9499	-	9477
The force after breaking one cable, kN	7890	10765	7888

Verification of the Optimisation Method

To verify the method of optimising the structure to minimise the bending moment in the stiffening girder of the structure, a numerical experiment was performed using the Katran software package based on the finite element method. In the considered scheme, the cables are arranged in pairs along the tunnel in increments of 30 m, the depth of the water barrier is up to 300 m, and the width is 2.5 km. The cross-sectional area can always be provided with a set of parallel cables. The parameters of the cable located vertically in the longitudinal projection before optimization are indicated in the Table 3. Limit the value of the maximum modulo moment to 40547 kNm.

We will find the necessary stiffness of the cables in a section of variable stiffness according to the formula (21). The optimised parameters of the cables are shown in Table 4. Pic. 11 shows a plot of moments in the stiffening girder of the structure. As can be seen from the comparison of plots before optimization (Pic. 8) and after optimization (Fig. 12), the edge effect of shore fastening of the stiffening girder is significantly reduced.

Obviously, in the case of a significant required cross-sectional area, cable packages or other structures will be used.

Table 5 shows the comparative parameters of the stress-strain state (bending moments) before and after optimisation according to the proposed method. As can be seen from Table 5, the

maximum bending moment has been reduced by more than 6 times, the minimum moment by more than 1,4 times. It can be seen from the table that the maximum value of the bending moment does not exceed the specified limit of 40547 kNm.

Survivability of the Structure

Survivability is the property of an object to remain operational in the presence of defects or damage of a certain type, as well as in case of failure of some components⁶. Let's consider two cases of failure of individual anchoring cables of the structural stiffening girder due to the destruction of the anchorage, the breakage of two cables or one cable. The first calculation case seems unlikely due to the location of anchors on the bottom at a distance of at least nine meters (diameter of a single girder of a single-track structure) with vertical anchor cables. In fact, in the transverse projection, the cables have an incline to ensure the transverse stability of the girder under the action of temporary loads (vibration of rolling stock, currents, the effect of surface waves). This leads to an even greater distance between the anchors, and, therefore, to a decrease in the probability of destruction of two anchor fastenings of the girder at the same time. The failure of two cables at the same time is unlikely but deserves consideration.

In the first case, there is a redistribution of bending moments, shown in Pic. 13. As can be seen from the comparison of Pic. 8 and Pic. 13, bending moments increase almost tenfold. Note, however, that the increase in bending moment is approximately the same at different attachment points and does not depend on the depth (length of the cables). Thus, the unification of the

⁶ GOST [State Standard] R 27.102–2021. Dependability in technics. Dependability of item. Terms and definitions. [Electronic resource]: https://hseblog.ru/kb/document/3094/files/12625/ГОСТ%20Р%2027.102-2021%20Надежность%20в%20технике.%20Надежность%20объекта.%20termines%20and%20determinations_Text.pdf?ysclid=lmug1h8vsb527543341. Last accessed 25.05.2023.

assembly sections of the stiffening girder, achieved in paragraph 1, remains, even if strength is calculated in this emergency. The overloads associated with the failure of the anchor cables remain local (Pic. 13). Note also that due to the opposite direction of the constant loads and the temporary load from the rolling stock, the presence of rolling stock will reduce overloads. Thus, even in the case of an emergency in question, the movement cannot be completely stopped. It is important to ensure the strength of the girder in this emergency due to its significant height exceeding nine meters to comply with the internal clearance.

The second calculation case, associated with the failure of one of the anchor cables, seems more likely. In this case (Pic. 14), the bending moments increase to a much lesser extent than in the first calculated case. The negative moment increases approximately 2.6 times in comparison with the standard situation (Pic. 8).

The change in longitudinal forces in anchor cables in emergency situations is shown in Table 6. In case of simultaneous breakage of two cables, the forces in adjacent cables increase by 30 %, in case of failure of one cable, the force in the remaining cable from the pair increases by 47 %. In this case, when rolling stock appears, cable overloads will decrease, i. e., an emergency will allow trains to continue moving.

Considering the indicated redistribution of internal forces, the survivability of the structure will be ensured.

CONCLUSIONS

The article substantiates the operability of a submerged floating transport structure. An engineering method has been developed to optimise bending moments in the stiffening girder of an submerged floating transport structure, which allows several times to reduce bending moments in the zones of the near-port sections, as well as significantly reduce bending moments in deep-water sections with radial anchoring of anchor cables. This solution makes it possible to use unified sections of the structural stiffening girder during construction.

The survivability of the structure can be ensured both in case of failure of one or two anchor cables, while the load from the train reduces overloads from constant loads due to the opposite direction of the resultant constant loads and the temporary load from the rolling stock, i. e., the presence of rolling stock will reduce overloads. Thus, even in the case of an emergency in question, the traffic will not be completely stopped.

REFERENCES

1. Poliakov, V. Yu., Khorev, I. V., Demidov, I. M. Modern approaches to the study and development of underwater floating structures. Transport structures [Transportnye sooruzheniya], 2022, Vol. 9, Iss. 3, Art. 7. DOI: 10.15862/08SATS322.
2. Vinokurov, M. A., Sukhodolov, A. P. Economics of Irkutsk region. 3 vols. Irkutsk, BGUEP (IGEA) publ., 2002, Vol. 3, 432 p. ISBN 5-7253-0677-1. [Electronic resource]: <https://opac.nsuem.ru/mm/2015/000212732.pdf>. Last accessed 27.05.2023.
3. Maeda, N., Morikawa, M., Ishikawa, K., Kakuta, Y. Study on structural characteristics of support systems for submerged floating tunnel. Proceedings of the 3rd Symposium on Strait Crossings, Ålesund, Norway, 1994, pp. 579–674. [Electronic resource]: <https://www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/193950901.pdf>. Last accessed 25.04.2023.
4. Martinelli, L., Barbella, G., Feriani, A. Modeling of Qiandao Lake submerged floating tunnel subject to multi-support seismic input. *Procedia Engineering*, 2010, Vol. 4, pp. 311–318. DOI: 10.1016/j.proeng.2010.08.035.
5. Mazzolani, F., Landolfo, R., Faggiano, B., Esposto, M., Martire, G., Perotti, G. Structural Analyses of the Submerged Floating Tunnel Prototype in Qiandao Lake (PR of China). *International Journal Advances in Structural Engineering*, 2008, Vol. 11, Iss. 4, pp. 439–454. DOI: 10.1260/136943308785836862.
6. Skopra, L. Innovative Norwegian fjord crossing. How to cross the Høgsjord, alternative methods. Proceedings of the 2nd Congress AIOM (Marine and Offshore Engineering Association), Naples, Italy, 1989. [Electronic resource]: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/ref/2017/52/mateconf_eacef2017_02026/mateconf_eacef2017_02026.html. Last accessed 25.04.2023.
7. Bruschi, R., Giardinieri, V., Marazza, R., Merletti, T. Submerged Buoyant anchored Tunnels: Technical Solution for the Fixed Link across the Strait of Messina Italy. Proceedings of the 2nd Symposium on Strait Crossings. Balkema, Rotterdam, Netherland. 1990. pp. 605–612.
8. Jin, Chungkuk, Kim Hansung. Dynamic Responses of a Submerged Floating Tunnel in Survival Wave and Seismic Excitations. Proceedings of the 27th International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, 25–30 June 2017. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017, pp. 547–551. DOI: 10.12989/OSE.2017.7.1.001.

Information about the authors:

Demidov, Ivan M., Ph.D. student at the Department of Bridges and Tunnels of Russian University of Transport, Moscow, Russia, dmdvn@rambler.ru.

Poliakov, Vladimir Yu., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Bridges and Tunnels of Russian University of Transport, Moscow, Russia, pyv55@mail.ru.

Article received 13.06.2023, approved 15.11.2023, accepted 17.11.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-5>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 204–210

Assessment of the Impact of Construction of Reinforced Soil Retaining Walls on Abutment Pile Group Foundation

**Mikhail T. Zbryskiy***Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.*✉ Zmt.work@mail.ru.**Mikhail T. ZBRYSKIY**

ABSTRACT

Recently, reinforced soil retaining walls have been increasingly used for construction of abutment pile groups. But those two structures are designed separately from each other, often even by different organisations. The objective of this work was to determine the impact of construction of reinforced soil retaining walls on first-pier pile foundations. The main task was to determine the dependence of the height of the embankment on the growth of adverse effects, the influence of pile length, depth, a possibility to apply nonlinear models and types of installation.

Complex modelling in flat and spatial settings has shown the need to consider while designing pile foundations the negative impact of additional horizontal and vertical shifts, as well as of bending moments and longitudinal forces. The study recorded a factor of emergence of negative friction the mechanism of which requires separate study.

The main conclusion of the study related to the need to develop a comprehensive assessment of the impact of construction of reinforced soil retaining walls on pile foundations of abutments.

Keywords: transport infrastructure construction, pile foundations, reinforced soil retaining walls, impact assessment, negative friction, calculation model, reinforced soil, abutment pile group.

For citation: Zbryskiy, M. T. Assessment of the Impact of Construction of Reinforced Soil Retaining Walls on Abutment Pile Group Foundation. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 204–210. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-5>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

From the point of view of construction technology, when constructing abutments with pile groups, it is rational to first drive piles and then erect a reinforced soil retaining wall (hereinafter referred to as RSRW).

Computation of RSRW design is often carried out by companies producing geosynthetic materials (e. g., Maccaferri, Tensar, Huesker, etc). For design, it is necessary to perform calculations to determine the required dimensions, the number of reinforcing elements and the optimal distance between them. After that, checks are made for external and internal stability, overturning, plane shear, and deformations [1, P. 168; 2, P. 70; 3, P. 57; 4, P. 146].

The design and calculation of abutment pile group foundation, in turn, is carried out without considering the active pressure of the embankment approaching the bridge or overpass.

Currently, these calculations are performed independently of each other, by different departments or organisations. This division excludes the possibility of a comprehensive assessment of the joint operation of the elements of the bridge structure. This has the most adverse effect on the foundations of the first pier, which in most cases are of pile type and are subject to horizontal and vertical shifts, as well as to the impact of additional forces.

The study performed joint «foundation-foundation soil» calculations related to the pile foundation of the abutment as well as to the reinforced soil embankment influencing it.

MATERIALS AND METHODS

According to the laws of soil mechanics, the design of foundations must be carried out considering the mutual influence of soils and foundations¹². At the same time, current regulatory documents provide for that these checks (impact assessment) are reduced only to calculation of additional deformations of the existing buildings in the surroundings, the calculation of these deformations been limited to certain maximum values depending on the

technical condition. In bridge construction, these limit values are not stipulated, except for high rigid structures and pipes; accordingly, it is not mandatory according to the standards to determine the impact of RSRW on an already existing pile foundation of the abutment.

Besides, the work [5, P. 19] indicates a possibility of negative friction occurring on the side surface of existing pile foundations caused by tangential stresses in the soil near the loading area. Such additional impacts on buildings and structures falling within the zone of influence of new construction are practically not considered in modern design practice.

N. M. Glotov and coauthors³ [6, P. 90] draw attention to the emergence of additional horizontal stresses from construction of an approach embankment because of occurrence of vertical stresses in the soil from the weight of the embankment and propose a method for taking this phenomenon into account. Similar accounting is given in the current regulatory documents, but only for the approach embankment adjacent to the abutment⁴. Accordingly, if the embankment is not adjacent, then such checks are not required and thus not performed.

Bridge construction widely uses the Fuss-Winkler elastic foundation model and its modifications [7, P. 42; 8, P. 49]. In this case, the soil is represented by a certain set of springs with proportional stiffness, while the piles are modelled as rod elements. Obviously, this model is not suitable for such a task. Solving problems in bridge construction is rarely performed in specialised geotechnical programs, such as PLAXIS, MIDAS GTS/FEA NX, Z-SOIL, etc.

To show the inapplicability of usual design principles, a MIDAS FEA NX software that implements the finite element method was selected. For structural elements with variable parameters (pile pitch, section size, etc.), it is recommended to use three-dimensional calculation schemes, which significantly complicates the modelling process and the engineer's labour costs.

In the work, numerical studies were carried out in the following variations:

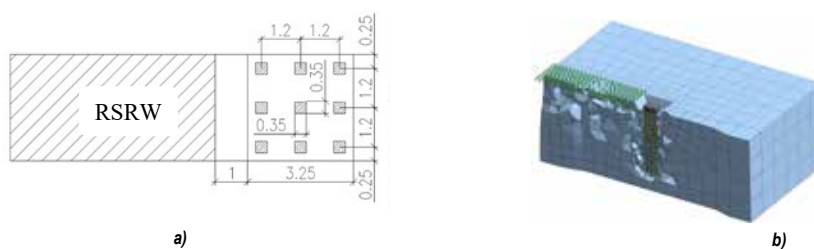
¹ Ukhov, S. B., Semenov, V. V., Znamensky, V. V. [et al]. Soil mechanics, basements, and foundations: Study guide. Moscow, Publishing House of the Association of Civil Engineering Universities 2005, 528 p., P. 129. ISBN 5-87829-003-0.

² Dalmatov, B. I., Bronin, V. N., Karlov, V. D., Mangushev, R. A [et al]. Basements and foundations. Part 2. Fundamentals of geotechnics: Textbook. Moscow, Publishing house ASV; SPbGASU, 2002, 392 p., P. 336. ISBN 5-93093-140-2.

³ Glotov, N. M., Solovyov, G. P., Fainshtein, I. S. Basements and foundations of bridges: Handbook. Ed. by K. S. Silin. Moscow, Transport publ., 1990, 240 p. ISBN 5-277-00886-1.

⁴ SP [Construction rules] 35.13330.2011 Bridges and pipes. Revised edition of SNiP 2.05.03–84. P. 233 [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849?ysclid=lmroclnpl0408250369>. Last accessed 17.05.2023.





Pic. 1. Finite-element model: a) diagram of a design case; b) spatial finite element diagram [developed by the author].

- Plane problem using the Mohr-Coulomb elastoplastic model.
- Plane problem using the elastoplastic model of hardening soil [9, P. 281; 10, P. 13].
- Volumetric problem using the Mohr-Coulomb elastoplastic model.
- Volumetric problem using the elastoplastic model of hardening soil.

In a two-dimensional setting, modelling piles with separate FE meshes (plane deformation elements) is possible only considering the reduced stiffness; the use of this method is not entirely correct. In view of this, special beam elements with a specified ultimate resistance along the lateral surface and under the heel of the piles were used.

In the three-dimensional model, the piles were modelled using solid finite elements, and the forces were obtained using a virtual beam, which integrates the stresses obtained in FE over the volume of the pile, and the interaction of the pile with the soil is taken into account by introducing interface elements [11, P. 34; 12, P. 19; 13, P. 26; 14, P. 36]. The finite element model is shown in Pic. 1 b.

Geological conditions are represented by one layer of sand of medium size, medium density, which has the following physical and mechanical parameters: $p=19,5 \text{ kN/m}^3$; $e=0,66$; $c=1 \text{ kPa}$; $\varphi=35^\circ$; $E=27 \text{ MPa}$; $P_{\text{ref}}=100 \text{ KPa}$; $v_{\text{ur}}=0,28$; $E_{50}=15,7 \text{ MPa}$; $E_{\text{oad}}=13,5 \text{ MPa}$; $E_{\text{ur}}=122,3 \text{ MPa}$; $m=0,49$; $K_0^{\text{nc}}=0,4$.

We assume that the RSRW design is stable and can be replaced by an equivalent design vertical load.

The specific gravity of the embankment soil is assumed to be 18 kN/m^3 , the distance from the edge of the embankment to the edge of the grillage is 1 meter. It is obvious that the farther the retaining wall is located, the less impact the foundation will receive. It is also worth noting that there are projects in which the connection of RSRW to the cap is carried out almost end-to-end.

The height of the embankment varied from 6 to 13 meters; these heights are typical in similar projects. The cap measures $3,25 \times 3,25 \times 1,20 \text{ m}$ and contains nine piles with a pitch of 1,2 m in the longitudinal and transverse directions (Pic. 1 a). The piles height varied from 7 to 15 meters with a section of $35 \times 35 \text{ (C7.35-C15.35)}$. Depth from surface level was up to 1,7 meters.

The calculation was carried out considering the staged construction of the embankment with one meter of filling per stage. Stage deformations without the participation of additional load from RSRW were reset to zero.

The following parameters were changed during numerical calculations: the size of the calculation model, the length of the piles, buried and non-buried cap, the difference in the physical nonlinearity of soil models (the use of different mathematical models to describe the behaviour of soils).

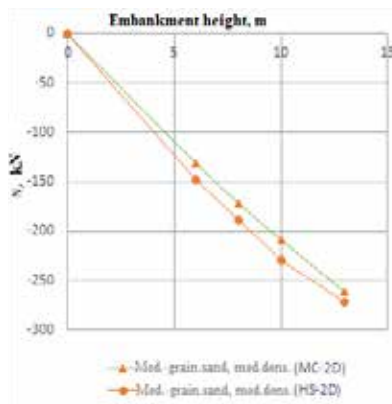
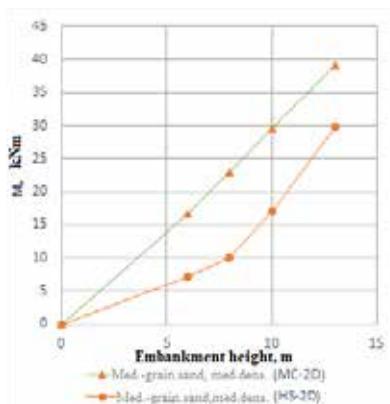
The influence of the embankment on the foundation is manifested in the form of the following factors:

- Additional horizontal movements of the foundation.
- Additional vertical movements of the foundation.
- Additional bending moments in piles.
- Additional longitudinal forces in piles.
- The occurrence of negative friction on piles.

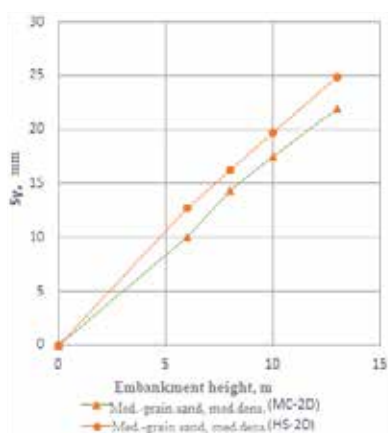
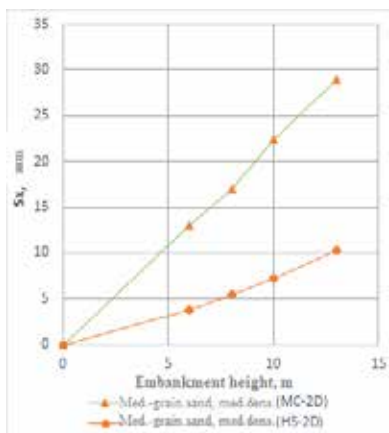
RESULTS

Based on the analysis, it was revealed that the main parameters influencing the results obtained are:

- Dimensions of the calculation area along the vertical axis.
- Pile length.
- Deepening of the cap.
- Type of setting (flat/spatial).
- Mathematical model describing the behaviour of soil (Coulomb-Mohr/ Hardening



Pic. 2. Additional internal forces in C15.35 piles [developed by the author].



Pic. 3. Additional movements in C15.35 piles [developed by the author].

Soil); the Hardening Soil model most correctly reflects the behaviour of soil when interacting with a pile⁵.

Analysis of Results in a Flat Setting

With the extension of the computational model, the absolute values of horizontal displacements increase, and the maximum value shifts lower to the edge of the computational model. The use of the elastoplastic model of Hardening Soil minimises this factor but does not eliminate it. The difference in additional bending moments can reach up to 40 %. In piles of shorter length, additional bending moments are greater and longitudinal forces are less. Due to the insignificant values of bending moments, it is worth paying more attention to longitudinal forces, which suggests that longer piles are subject to greater influence. As the depth of the

cap increases, the pressure distribution on the cap and piles changes, resulting in a decrease in both moments and longitudinal forces. The resulting dependences of the displacements and forces in the piles on the soil model are shown in the graphs (Pics. 2 and 3).

The results obtained indicate that the elastoplastic model of hardening soil shows a noticeable decrease in bending moments and horizontal displacements compared to the Coulomb-Mohr model while longitudinal forces and additional subsidence remain within the same limits.

The study recorded the factor of the appearance of «negative friction» on the side surface of the bridge abutment piles. Negative friction occurs because the soil subsidence under the pile foundation under the influence of construction of RSRW is greater than the subsidence under the foundation itself (Pic. 4 a, b, c). In this case, the soil near the piles overhangs them, and the additional load is added to the external load

⁵ Melnikov, R. V. Using the finite element method in geotechnics: Study guide. Moscow, Vologda, Infra-Engineering publ., 2021, 188 p. ISBN 978-5-9729-0697-0.

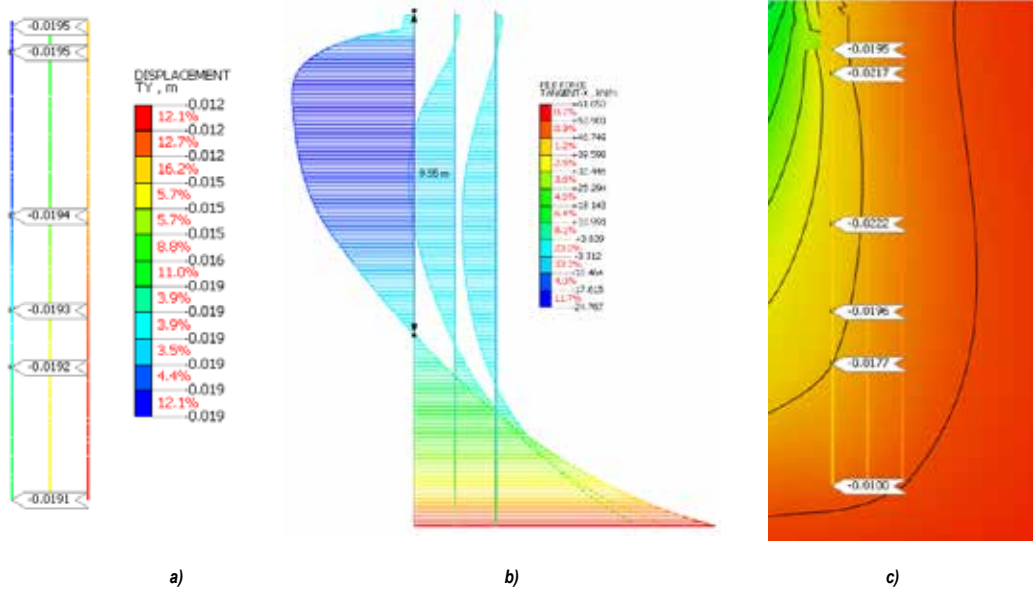


Fig. 4. a) subsidence of the soil mass, b) subsidence of the pile foundation, c) shear stresses in pile interfaces [calculation results in MIDAS FEA NX environment, developed by the author].

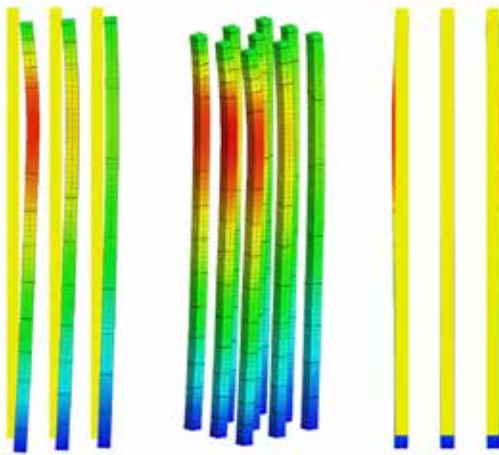


Fig. 5. Deformed view of a pile foundation [calculation results in MIDAS FEA NX environment, developed by the author].

applied to the piles. According to the rules for calculating bearing capacity, tangential forces acting in the direction of settlement must be taken with the sign «-». This factor has a significant impact on the load-bearing capacity and leads to an increase in longitudinal forces [15, P. 1425; 16, P. 48; 17, P. 196]. Based on the nature of the diagram of tangential stresses in pile interfaces, it is clear that MIDAS FEA NX takes into account negative friction. Pic. 4 c shows that the negative friction from the embankment pressure acts only to a certain depth – a «neutral axis», the position of which can be determined from a numerical calculation. In specialised software systems, this

phenomenon is considered automatically. In analytical calculations, or when using other solution methods, this factor must be specifically considered.

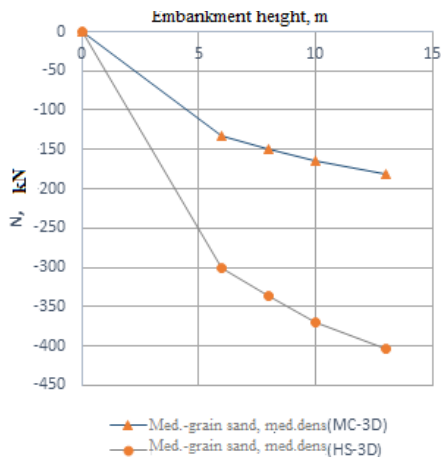
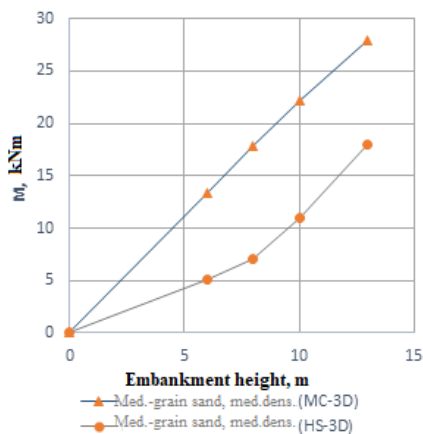
Analysis of Results in a Spatial Setting

Following numerical experiments carried out in a three-dimensional setting it was found that the behaviour of a pile foundation under the influence of the construction of RSRW is much more complex and requires careful analysis in each individual case. Pic. 5 shows the deformations of the pile foundation. Pics. 6 and 7 show the obtained dependences of the displacements and forces in the piles on the soil model in a spatial setting.

It is clearly seen that additional bending is observed only at 1/3 of the length of a pile, while the piles of the front row are subject to greater bending, which is intuitively understandable based on the distribution of additional stresses in the soil mass. The movement of the soil mass in the space in-between the piles leads to bending of the outermost piles in a different projection, which indicates a complex stress-strain state of the support foundation.

The obtained dependencies demonstrate a significant discrepancy in the results between the soil behaviour depending on the models used, which requires a separate study.

In a spatial setting, changing the height of the calculation model does not have a significant



Pic. 6. Additional internal forces in C15.35 piles [developed by the author].

effect on the results obtained. The bending moment values are reduced compared to the plane setting of the problem.

Longitudinal forces, on the contrary, increase. This effect can be explained by the fact that the behaviour of piles along the lateral surface is more accurately described, since the entire solid volume is modelled, and the software package automatically determines the tangential forces applied along the lateral surface. The absolute values of displacements decreased.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The results of experiments can be summarised and suggested for discussion as the conclusions that follow.

1. The impact on the abutment pile foundation of the construction of RSRW is expressed in

additional bending moments, longitudinal forces, vertical and horizontal displacements.

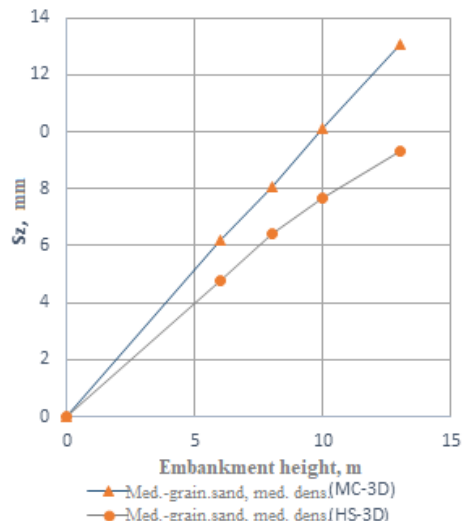
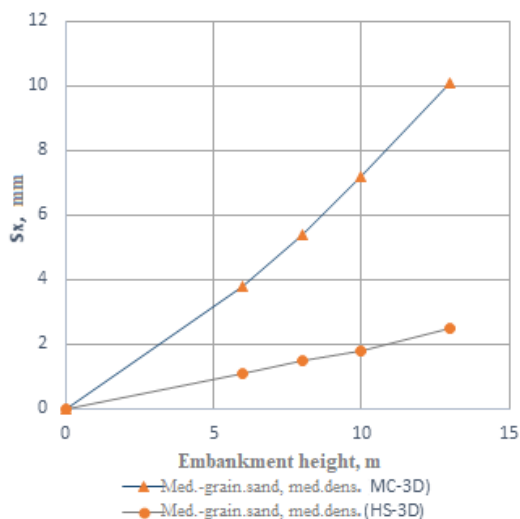
2. When building a high-height RSRW next to a pile foundation, negative friction may occur on the side surface of the piles, which can lead to a decrease in the load-bearing capacity of the piles regarding the soil.

3. Beam finite elements are idealised models, and their cross-section is not considered entirely correctly, thus the longitudinal forces may not be determined correctly.

4. Additional internal forces depend on the soil behaviour model used.

5. The height of the calculation model affects the results obtained in a flat setting and has virtually no effect in a spatial setting.

6. When designing an abutment with pile groups, it is necessary to jointly calculate and



Pic. 7. Additional displacements in C15.35 piles [developed by the author].

design the RSRW and the foundation of the abutment.

Performing two independent calculations may lead to incorrect results and future damage to foundations, which will significantly reduce safety and reliability of the bridge structure. To avoid such problems, during design phase it is necessary to consider the influence of retaining walls on pile foundations. To solve this problem, it is necessary to ensure coordination between specialists involved in calculations of the foundation of the abutment and RSRW.

In general, proper design of foundations and retaining walls is one of the most important aspects in creating reliable and safe structures. So, it is necessary to consider all possible influencing factors while proceeding with the design.

REFERENCES

1. Sokolov, A. D. Reinforced soil systems of highway bridges and transport interchanges: Monograph [*Armogruntove systemy avtodorozhnykh mostov i transportnykh razvyazok: Monografiya*]. St. Petersburg, LLC Industry Media Corporation «Derzhava», 2013, 504 p. ISBN 978-5-7937-0901-0.
2. Tarasov, A. A. Design of bridge abutments from reinforced soil [*Proektirovanie mostovykh ustoev iz armirovannogo grunta*]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktii*, 2012, Iss. 2 (5), pp. 70–76. EDN: PJEPYR.
3. Zernina, E. V. Calculation of a reinforced soil retaining wall to ensure slope stability [*Raschet armogruntovoi podpornoi stenki dlya obespecheniya ustoychivosti sklona*]. *Modern technologies in construction. Theory and practice*, 2019, Vol. 1, pp. 57–64. EDN: QGVUDT.
4. Shapiro, D. M., Tarasov, A. A. Calculation of stability of abutments and cones of bridge structures [*Raschet ustoychivosti ustoev i konusov mostovykh sooruzhenii*]. *Scientific Bulletin of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*, 2012, Iss. 2 (26), pp. 146–153. EDN: OXPZDT.
5. Sotnikov, S. N., Simagin, V. G., Vershinin, V. P. Design and construction of foundations near existing structures [*Proektirovanie i vozvedenie fundamentov vblizi sushchestvuyushchikh sooruzhenii*]. Ed. by S. N. Sotnikov. Moscow, Stroyizdat publ., 1986, 96 p. [Electronic resource]: <https://djuv.online/file/QJwy7yYkzzFgH?ysclid=lmronkdpaf472884850>. Last accessed 18.05.2023.
6. Glotov, N. M., Luga, A. A., Silin, K. S., Zavriev, K. S. Pile foundations [*Svainie fundamente*]. Moscow, Transport publ., 1975, 432 p. [Electronic resource]: <https://elima.ru/books/?id=1982&ysclid=lmro8al8w147138415>. Last accessed 18.05.2023.
7. Nuzhdin, L. V., Mikhailov, V. S. Methods for constructing models and calculating the «pile foundation soil foundation» system in SCAD Office and Smath Studio [*Metody postroeniya modelei i rascheta sistemy «svainiy*

fundament – gruntovoe osnovanie]. *News of higher educational institutions. Construction*, 2020, Iss. 5 (737). – C. 42–52. DOI: 10.32683/0536-1052-2020-737-5-42-52.

8. Shapiro, D. M. Theory and design models of foundations and geotechnical objects: Monograph [*Teoriya i raschetnye modeli osnovanii i obektov geotekhniki: Monografiya*]. Voronezh, IPC «Scientific Book», 2012, 164 c. ISBN 978-5-905654-70-1.

9. Sharma, V. J., Vasanvala, S. A., Solanki, C. H. Behaviour of Load-Bearing Components of a Cushioned Composite Piled Raft Foundation Under Axial Loading. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 2014. Vol. 22, Iss. 4, pp. 25–34. DOI: 10.2478/sjce-2014-0020.

10. Schanz, T., Vermeer, P. A., Bonnier, P. G. The hardening soil model: Formulation and verification. In: *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Balkema, Rotterdam, 1999, pp. 281–296. DOI: 10.1201/9781315138206-27.

11. Zakharova, T. M., Cherepanov, B. M. Review of the Midas GTS NX and PLAXIS 3D software systems for solving design problems when calculating pile foundations [*Obzor programnykh kompleksov Midas GTS NX i PLAXIS 3D dlya resheniya proektnykh zadach pri raschete svainykh fundamentov*]. *Polzunovskiy almanac*, 2023, Iss. 1, pp. 34–37. EDN: IHOQLI.

12. Kupchikova, N. V., Sychkov, A. N. Results of numerical analysis of the «building – pile foundation – soil foundation» system using «MIDAS GTS NX» [*Rezultaty chislennogo analiza sistemy «zdanie – svainiy fundament – gruntovoe osnovanie» s pomoshchyu «MIDAS GTS NX»*]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*, 2021, Iss. 1 (35), pp. 19–24. EDN: SZIVGB.

13. Fadeev, A. B. Parameters of the hardening soil model in Plaxis software. In: *Numerical methods of calculations in practical geotechnics: Collection of articles of international scientific and technical conference*. St. Petersburg, SPbGASU publ., 2012, 398 p., pp. 13–20. ISBN 978-5-9227-0318-5.

14. Alekhin, V. S. Interaction of piles in groups and determination of the ultimate resistance of the foundation. Ph.D. (Eng) thesis [*Vzaimodeistvie svai v sostave grupp i opredelenie predelnogo soprotivleniya*]. Diss...kand.tekh. nauk]. Moscow, RUT publ., 2020, 147 p.

15. Znamenskii, V. V., Hegazy, O. M. A comparative study of ordinary piles and superlong piles in consolidating soil. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Vol. 1425, Iss. 1, art. 012071. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012071.

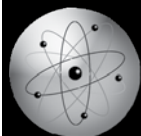
16. Akopyan, V. F., Kondrik, I. V., Samsonov, O. V. Modeling of negative friction forces during implementation of subsidence properties of soil [*Modelirovanie otritsatelnykh sil treniya pri realizatsii prosadochnykh svoystv grunta*]. *Engineering Bulletin of the Don*, 2018, Iss. 1, pp. 48–54. [Electronic resource]: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_40_akopyan_kondrik_samsonov.pdf_aa673c493e.pdf. Last accessed 29.07.2023.

17. Znamensky, V. V., Le Thuy Duong. The influence of the water drawdown process on the development of negative friction forces on the side surface of the pile. *Innovations and investments*, 2022, Iss. 4. [Electronic resource]: <https://www.innovazia.ru/upload/iblock/f3b/se3tpz3oxz7i2tm8uat40hz9mee9c1lu/%E2%84%964%202022%20%D0%98%D0%B8%D0%98.pdf> [full issue]. Last accessed 29.07.2023.

Information about the authors:

Zbryskiy, Mikhail T., master's student at the Department of Soil Mechanics and Geotechnics of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, Zmt.work@mail.ru.

Article received 13.06.2023, approved 13.10.2023, accepted 15.11.2023.



On the Relationship of Torsional Vibrations and Breakdown Torque of Marine Diesel Engines



Dmitry A. POPOV



Vyacheslav S. EPIFANOV



Vladislav A. ZYABROV

Dmitry A. Popov¹, Vyacheslav S. Epifanov², Vladislav A. Zyabrov³

^{1, 2, 3}Academy of Water Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ popov.dmitry88@mail.ru.

¹ Russian Science Citation Index SPIN-code: 4265–4183, Russian Science Citation Index Author ID: 1119329.

² Russian Science Citation Index SPIN-code: 5428–9215, Russian Science Citation Index Author ID: 1118887.

³ Russian Science Citation Index SPIN-code: 1021–3360, Russian Science Citation Index Author ID: 730838.

ABSTRACT

The article provides an overview of the conditions necessitating the calculation of torsional vibrations and disturbing moments relevant for their calculation as for marine diesel engines followed by an analysis of the effect of torsional vibrations on the breakdown torque of the engine. The forces arising in the crank mechanism of the engine due to torsional vibrations are illustrated by a diagram. Formulas are suggested for calculating the breakdown torque caused by torsional vibrations of the crankshaft of a multi-cylinder engine and the total breakdown torque. It is recommended to consider the influence of moments caused by

torsional vibration on the unevenness of rotation and vibration of the engine.

The results of calculation of the total torque of the engine previously performed by group of researchers, considering the influence of torsional vibrations, are quoted for DGR A 100/750 diesel generator with an effective power of 100 kW at a nominal speed of 750 rpm with a 6L 18/22 engine.

Based on the results of the analysis, suggestions are given on the need to consider the moments arising from torsional vibrations when diagnosing the engine.

Keywords: water transport, torsional vibrations, marine engine, breakdown torque, shaft line, ship power plant.

For citation: Popov, D. A., Epifanov, V. S., Zyabrov, V. A. On the Relationship of Torsional Vibrations and Breakdown Torque of Marine Diesel Engines. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 211–216. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The transport in Russia is developing rapidly, and water transport is no exception. The introduction of information technologies and automation for water transport allows not only to improve the quality of management and control of parameters, but also to ensure constant monitoring of the technical condition of installations and units.

Series of research works are dedicated to that issue. They particularly note that comprehensive support of a ship's power plant (SPP) «as of a highly dependable object» provides for «cloud technologies for storing large amounts of data and reliable communication via secure channels between the ship, equipment manufacturers and coastal services» [1].

But «during operation of marine internal combustion engines (ICE), wear and aging of their components and assemblies naturally occur, inevitably causing a deterioration in the machines' environmental, economic and efficiency performance» [2].

For SPP of unmanned ships, the requirements for reliability, efficiency, survivability, and environmental friendliness will be even higher. Autonomous ships will require an advanced maintenance and diagnostic system. «In places where the autonomous fleet stops (ports, roadsteads), the presence of repair and diagnostic teams will be required to inspect, check, and maintain SPP and ship automation systems. Along the routes of autonomous vessels, access will be required for emergency response teams using helicopter transport» [3].

With increasing load and decreasing metal consumption of mechanisms, the importance of dynamic calculations of the system increases. As the unevenness of the torque increases, there is an increase in vibrations of the engine installed on the supports and an increase in noise in the engine room of the vessel.

Torsional vibrations in the motor-shafting-propulsion system can create a real danger. In resonant operating modes of the power plant, the probability of fatigue failure of the most loaded parts increases. Identification and suppression of a strong source of vibration is an equally important method for increasing the reliability of SPP [4].

However, due to the complexity and high cost of equipment for studying torsional vibrations, the importance of being able to use indirect control methods is increasing.

The objective of the study is to analyse the relationship between torsional vibrations and breakdown torque of marine diesel engines.

Tasks of the study include review of disturbing moments during torsional vibrations, drawing up a diagram of the forces and moments arising in the crank mechanism of the engine due to torsional vibrations, computational study of the overturning moment from torsional vibrations, assessment of the impact of the moment of breakdown torque arising due to torsional vibrations on the diagnostic parameters of the SPP.

The work was carried out using theoretical research *methods*, such as analysis and synthesis, content analysis of research data from open sources.

RESULTS

The torsional oscillating motor-shafting-propulsion system is a system of interconnected shafts. Besides the moment of mechanical energy transmitted to the consuming unit and the perception of axial force, shaft line is influenced by many additional loads. A special place among them is occupied by torsional vibrations, since the tangential stresses arising during their resonance can be several times higher than all other acting loads.

Based on that, the motor-shafting-propulsion system should be considered one of the most critical and stressful parts of a power plant, despite the apparent simplicity of the design.

Torsional vibrations were first described at the very beginning of the 20th century in connection with some features of the shaft line of a ship's steam power plant, particularly by Hermann Frahm. However, even in our time, shaft failures are repeatedly observed due to this dangerous phenomenon.

Torsional vibrations are vibrations in which all points of the system perform reciprocating movements along circular arcs around a fixed axis.

Calculation of a system regarding torsional vibrations is one of the most complex and voluminous calculations when creating or modernising a SPP. According to the rules of the transport supervisory authorities, calculations for torsional vibrations and verification of the calculation results with the help of torsion recording are carried out when re-equipping, modernising, renewing, updating or reclassifying

a vessel¹. For the experimental study of torsional vibrations, special devices are used – torsionographs (recording torsion meter), including domestic ones, which have proven themselves quite well [5–7]. Conditions under which torsional vibration testing is necessary include:

- Replacing the main engine of the power plant or changing the parameters and/or structural elements of the previous engine.
- Replacing flywheel or changing its design.
- Replacing torsional vibration damper/anti-vibrator.
- Replacing elastic coupling.
- Replacing propeller or changing its design.
- Installation, replacement or removal of an additional energy consumer or source (pump, shaft generator, power turbine, etc.).
- Change in shaft diameter by more than 2 %.
- Changing the parameters of anti-vibration joints.
- Installation of additional concentrated masses (flywheel, clutch, etc.).
- Modernisation of the unit with replacement of the main elements of the system.

The moments that are considered when calculating torsional vibrations of power plants include [8]:

- Moments arising due to the forces of inertia and gravity of moving masses in the crank mechanisms of piston engines.
- Moments arising due to steam or gas pressure forces in the cylinders of piston engines (or air in the cylinders of compressors).
- Constant component of the torque transmitted from the source to the energy consumer (average torque).
- Variable component of the torque created by the propeller, due to the uneven velocity field of the passing water flow (when the propeller operates behind the ship's hull).
- Variable component of the torque created by the winged propeller, due to the cyclic operation of the propeller blades.
- Some other types of disturbing moments caused by design features or inaccuracy in the manufacture of the installation in question (cushion joints of shafts, inaccuracy in the manufacture of gear joints).

But the main source of torsional vibrations of the system are variable moments from the action of various forces in the crank mechanisms.

¹ Manual R.009–2004 «Calculation and measurement of torsional vibrations of shaft lines and units», Russian River Register, Moscow, 2016.

To calculate the power plant's forced torsional vibrations, it is necessary to get the values of all moments as a function of the angle of rotation of the shaft.

The sources of forced vibrations of a marine diesel engine on supports comprise unevenness of the breakdown torque due to gas forces and inertia forces, imbalance of the shafting, breakdown torque arising from the resonance of torsional vibrations.

The torque and breakdown torque acting in the crank mechanisms are obtained by decomposing, according to the classical scheme, the total force from the gas pressure and the inertia forces of the moving masses of the crank mechanisms. This process is discussed in the kinematics section of any textbook on internal combustion engines.

Moments due to torsional vibrations are periodic functions of the crankshaft rotation angle (CRA).

The occurrence of torque from torsional vibrations is described as follows. If at some point in time the amplitude of the vibration of the shaft crank reaches the maximum value, to which the crank has turned in a counterclockwise arc of a circle, then, when the crank in its oscillatory motion turns back, each time a pair of equal in magnitude and oppositely directed forces T_i applies in points O and B (Pic. 1).

The torque from torsional vibrations of the crankshaft arises from the action of a pair of tangential forces T_i .

As a result of decomposition of one tangential force from the crank shaft, acting in the connecting crankpin, into components K along the crank and P_{shi} along the moving parts of the connecting rod-piston group. The transfer of the force P_{shi} along the line of action to point A gives the components of the vertical inertial force P_i and horizontal normal force N_i .

Another tangential force from the crank shaft, acting in the crankshaft neck, is decomposed into components K along the crank and P_{shi} parallel and oppositely directed force P_{shi} from the moving parts of the connecting rod-piston group. In turn, P_{shi} force represents the vertical P_{shi} and horizontal N_i components. As can be seen from Pic. 1, a pair of forces N_i form a breakdown torque due to torsional vibrations.

The force K with which the crank acts on the support (point O), as well as on the oppositely directed reaction of the support, tends to shift the engine in the direction of the force.



$$M_{entorcrank} = A_r \cdot \omega^2 \cdot \sum_{i=1}^n I_i a_i \times \left((k^2 + 1) \times \left(\sin(\phi + \delta_i) - 1, 25\lambda \sin(2(\phi + \delta_i)) \cdot \sin(k\phi + \varepsilon_k) - \right) \times \left(-k(\cos(k\phi + \varepsilon_k) + \lambda \cos(2(\phi + \delta_i)) \cos(k\phi + \varepsilon_k)) \right) \times \left(\frac{(4 - 3\lambda^2) \sin(\phi + \delta_i) + 2\lambda \sin(2(\phi + \delta_i)) + 2\lambda^2 \sin(3(\phi + \delta_i))}{1 - 0,25\lambda^2(1 - \cos(2(\phi + \delta_i)))} \right) \right), \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (1)$$

or according to the simplified dependence:

$$M_{entorcrank} = 0,5 \cdot A_r \cdot \omega^2 k^2 \sin(k\phi + \varepsilon_k) \cdot \sum_{i=1}^n I_i a_i \times \left(1 - \cos(2(\phi + \delta_i)) + K\lambda \sin(\phi + \delta_i) \sin(2(\phi + \delta_i)) \right), \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (2)$$

where A_r – resonant amplitude of torsional vibrations, rad;

ω – angular speed of the shaft, rad/s;

k – harmonic order of torsional vibrations;

λ – constant of the crank mechanisms;

I_i – moment of inertia of the crank mechanism, $\text{kg}\cdot\text{m}^2$;

a_i – relative amplitude of the i -th mass of torsional vibrations;

ϕ – crank angle;

δ_i – crank wedge angle;

ε_k – initial phase of the k -th harmonic of torsional vibrations;

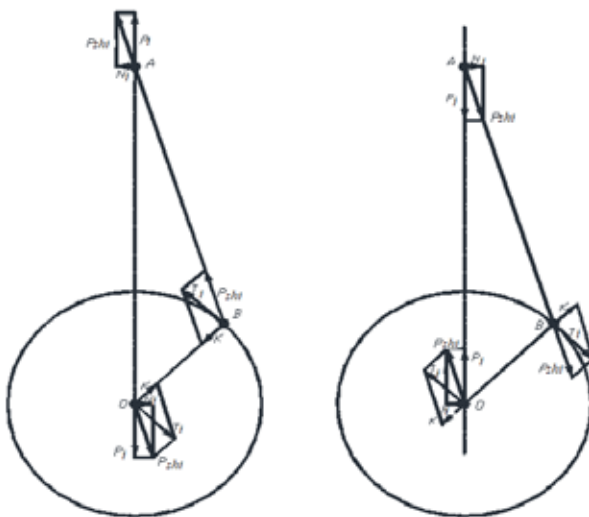
K – correction for the influence of the constant of the crank mechanisms;

n – number of compartments (cylinders).

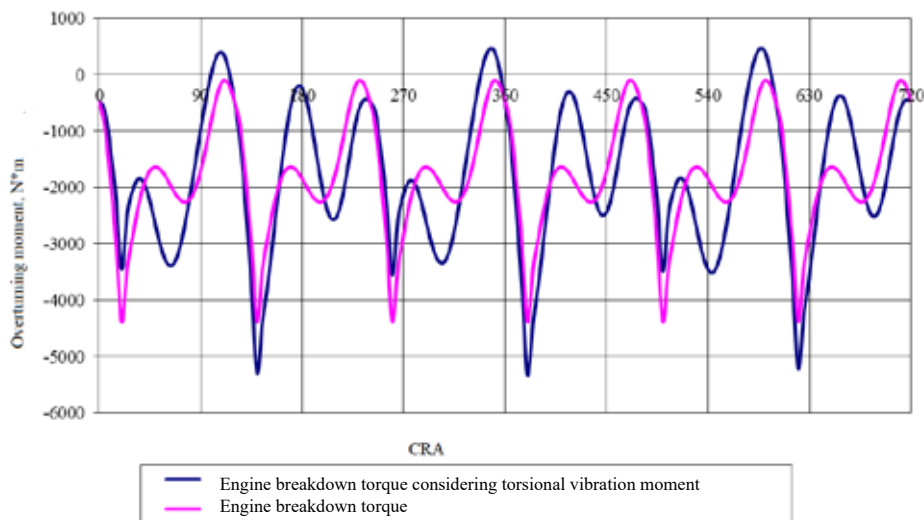
According to Pic. 1 it can be seen that the breakdown torque due to torsional vibrations of the crankshaft makes a certain contribution to the current breakdown torque arising from the total force. «The energy from gas forces, partially spent during the power stroke on development of vibrations, causes an increase in the load on the connecting rod and the occurrence of a breakdown torque due to torsional vibrations, which affects the breakdown torque due to the total gas and inertial forces» [9].

It should be noted that the breakdown torque is equal in magnitude and opposite in direction to the torque, but due to the fact that they are applied to different bodies (motor housing and shaft line) they are not mutually balanced.

The derivation of formulas for calculating the breakdown torque due to torsional vibrations of the crankshaft of a multi-cylinder engine is given in [10]. Here we will limit ourselves to formulas that are suitable for an in-line marine engine (1; 2).



Pic. 1. Diagram of forces arising in the crank mechanisms from torsional vibrations [performed by the authors].



Pic. 2. Dependence of the breakdown torque on the crankshaft rotation angle (CRA) during the working cycle [performed by the authors].

Dependences (1) and (2), considering the amplitudes of oscillations of the motor masses, can be used to determine the total influence of the breakdown torque due to torsional vibrations and breakdown torque of the engine.

The total moment will be equal to:

$$M_{\Sigma} = M_{en} + M_{entorcrank} = \sum_{i=1}^n M_{ig} + M_{entorcrank}, \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (3)$$

where M_{en} – engine breakdown torque;

M_{ig} – breakdown torque of one engine compartment.

When calculating the total torque, it is necessary to know the initial phase of the harmonic component of the k -th order torque, which excites torsional vibrations.

Calculations were carried out using these formulas for DGR A 100/750 diesel generator with an effective power of 100 kW at a nominal speed of 750 rpm with a 6CH 18/22 engine. The results were reported by their authors at the All-Russian Scientific and Technical Conference on Automatic Control and Regulation of Thermal Power Plants at Bauman MSTU in 2014 and 2015, the abstracts of which were published in [11, 12].

The calculations showed that torsional vibrations of the shaft line affect the breakdown torque of the entire engine. For clarity, Pic. 2 shows the characteristic calculated dependences of the breakdown torque M_{Σ} on the angle of rotation of the crankshaft φ , considering the moment from torsional vibrations with sixth harmonic resonance and without those vibrations during the operating cycle. The graph shows that

the torque amplitudes have increased, which leads to development of dangerous stresses in the shafting and vibrations in the engine room.

If there is a resonance, moments from torsional vibrations will affect the operation of the entire torsionally oscillating system. Therefore, to ensure operability of the power plant, it is necessary to monitor the parameters of ship internal combustion engines (main and auxiliary) under operating conditions.

For in-place automatic technical troubleshooting of the systems, among others, the following parameters are promising to be checked: engine torque, crankshaft rotation speed, vibration in the area of the cylinder covers (vibration velocity/vibration displacement), vibration in the crankshaft area (vibration velocity/vibration displacement) [13]. They may be affected by the influence of resonant torsional vibrations.

The uneven rotation of the shaft line is another important diagnostic parameter. One of the reasons contributing to the occurrence of uneven rotation is the presence of torsional vibrations of shafts and shaft lines [14].

«Modern diagnostic systems have the functions of automatic failure detection, automatic diagnostics, as well as automatic troubleshooting of main ship engines, as well as of other types of ship equipment located in the engine room [1; 15]. If a universal platform with open software is used, then it becomes easier to consider the influence of moments arising due to torsional vibrations when



diagnosing a torsionally oscillating engine-shafting-propulsion system.

CONCLUSIONS

Following the analysis of referenced sources and results of previous authors' research it is possible to draw some summarising conclusions.

The engine-shafting-propulsion system is one of the most critical and stressful parts of a ship's power plant. And the calculation of a system regarding torsional vibrations is one of the most complex and voluminous calculations when developing a power plant, which must be checked by torsion metering.

Several types of disturbing moments must be considered in the calculations of torsional vibrations of power plants, but the main source of torsional vibrations of the system are variable moments from the action of various forces in the crank mechanisms.

According to the considered diagram of forces in the crank mechanisms and following the calculations carried out using the given dependencies for the DGR A 100/750 diesel generator, it becomes clear that torsional vibrations of the shaft line affect the breakdown torque of the entire engine.

When diagnosing a torsionally oscillating engine-shafting-propulsion system, it is important to consider the influence of moments arising from torsional oscillations since under operating conditions this can allow maintenance personnel to prevent the occurrence of possible accidents.

Further research is required dedicated to search for increase in efficiency of technical diagnostics with the use of digital tools and communication means allowing to exchange big data.

REFERENCES

1. Valov, D. S., Valgin, S. A. Control systems for marine power plants of autonomous ships. *Actual research*, 2023, Iss. 5 (135), pp. 19–28. EDN: QGRTJJ.
2. Zyabrov, V. A., Kosygin, I. A., Lopatin, I. N. Review of methods for diagnosing the technical condition of marine diesels. *River transport (XXI century)*, 2014, Iss. 4 (69), pp. 39–41. EDN: SIVFKR.

3. Volodin, A. B., Presnov, S. V., Yakunchikov, V. V. Towards autonomous navigation. *RUDN Journal of Engineering Research*, 2021, Vol. 22, Iss. 4, pp. 355–363. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-4-355-363>.
4. Epifanov, V. S., Popov, D. A. Ship's internal combustion engines: methodological recommendations. Moscow, MGAVT publ., 2017, 121 p.
5. Gorbachev, M. M., Kolyvanov, V. V. Selecting methods of continuous monitoring of torsional vibrations in ship propulsion complexes. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*, 2023, Iss. 2, pp. 54–65. EDN: JYRACU. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-54-65>.
6. Kudryavtsev, M. V. Optical monitoring of torsional vibrations of shafts. *Bulletin of information technologies, mechanics and optics*, 2006, Iss. 28, pp. 3–7. EDN: JURYJF.
7. Sergeev, K. O., Prygunov, A. I. The experience of using RT-660 radiotorsigraphs on vessels of the Northern Basin. *Vestnik MSTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University*, 2008, Vol. 11, Iss. 3, pp. 493–497. EDN: JRGMLT.
8. Tersikh, V. P. Torsional vibrations of shaft lines of power plants. Vol. 1. System elements and disturbing moments [*Krutilnye kolebaniya valoprovodov silovykh ustanovok. T.1. Elementy sistemy i vozmushchayushchie momenty*]. Leningrad, Sudostroenie publ., 1969, 206 p.
9. Markov, V. A., Shatrov, V. I. Analysis of tendencies for improving the systems of automatic control and regulation of heat-and-power plants. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. The Mechanical Engineering series*, 2014, Iss. 1 (94), pp. 111–128. EDN: RYBWYB.
10. Dobrogaev, R. P., Epifanov, V. S. Derivation of the calculated dependencies of the breakdown torque arising from torsional vibrations of the crankshaft of a multi-cylinder engine. Research of strength and reliability of automobile engine parts. Interuniversity collection. Kalmyk State University, Elista, 1980, pp. 35–48.
11. Markov, V. A., Shatrov, V. I. Tendencies of system evolution for automatic-control and regulation of heat and power plants. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2014, Iss. 5 (98), pp. 127–140. EDN: SVJQJB.
12. Markov, V. A., Shatrov, V. I. Ways for improving systems of automatic control and regulation of heat and power plants. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2015, Iss. 5 (104), pp. 128–148. EDN: UXKGAP.
13. Solovyov, A. V. Monitoring systems of marine diesel engines in operation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*, 2018, Iss. 1, pp. 87–92. EDN: YOQFCW.
14. Kochergin, V. I., Glushkov, S. P., Kurmygin, A. V. Study on the uneven rotation of the drive elements of ship power plants. *Scientific problems of water transport*, 2020, Iss. 65, pp. 71–79. EDN: TGFIBQ.
15. Automation and diagnostics systems for diesel and gas engines (materials of the CIMAC-2016 Congress). *Engine building*, 2019, Iss. 1 (275), pp. 39–57. EDN: QMGFYW.

Information about the authors:

Popov, Dmitry A., Senior Lecturer at the Department of Ship Power Plants, Ship Electrical Equipment and Automation of Academy of Water Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, popov.dmitry88@mail.ru.

Epifanov, Vyacheslav S., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Ship Power Plants, Ship Electrical Equipment and Automation of Academy of Water Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, vsepfanov@mail.ru.

Zyabrov, Vladislav A., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Ship Power Plants, Ship Electrical Equipment and Automation of Academy of Water Transport of Russian University of Transport, Moscow, Russia, Москва, Россия, zs4@yandex.ru.

Article received 27.06.2023, approved 24.09.2023, accepted 30.09.2023



LOGISTICS 218

Mathematical model of timber supply chains and the position of freightage within it.

RAIL PASSENGER TRANSPORT 228, 236

Comparison of single and double-deck rail coaches. Which factors should be considered and what conclusions can be drawn?

How to harmonise the composition and number of coaches within trains for irregular passenger transportation?

PUBLIC URBAN TRANSPORT 241

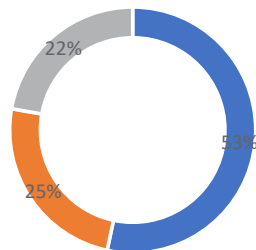
New approach to assessment of the performance of transportation services.

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS



ROAD TRAFFIC 250

How can a traffic jam be measured? Is everything so evident, as it seems, and how can it help to reduce traffic congestion?



VEHICLE INSURANCE 262

Results of the market survey of 2022. Demand for aftermarket spare parts and respondents' other opinions.



ORIGINAL ARTICLE

Jel Classification C44, C61, D24

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-7>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 218–227

Optimisation of Timber Supply Chains: Mathematical Model and Analysis of Regional Sources Using the Example of Primorsky Region

**Rodion S. Rogulin***Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia.*✉ rafassiaofusa@mail.ru.

Rodion S. ROGULIN

ABSTRACT

Optimising the supply of raw materials is closely related to the problems that arise at wood processing plants. Assessing the optimality of solutions often becomes a pressing issue.

The article considers the scenario of a forestry plant without its own sources of raw materials, such as loggers, which seeks to find an optimal solution at the final stage of planning, based on data on previous transactions. A commodity exchange is considered as a source of raw materials, where lots appear daily in various regions of logging enterprises in a random order.

The scientific sources offer multiple methods for calculating optimal profit throughout the entire planning period, but these approaches do not consider many important features of forest processing enterprises.

This paper presents a mathematical model that allows estimating the optimal path for profit values throughout the entire

planning period. A distinctive feature of the model is that it takes into account the share of the useful volume of raw materials that can be used in production of oriented strand boards after being delivered to the warehouse, as well as the delivery time of lots under conditions of uncertainty.

After testing on data from the Russian Mercantile Exchange and one of Primorsky region enterprises, the model was applied to calculate the optimal profit trajectory for various data, including volumes of raw materials, time of lot delivery and other important production indicators, such as profit volume and volume of goods produced. Analysis of the results revealed difficulties in planning supply chains and production volumes. Regions as sources of raw materials were analysed, and it was determined from which regions and at what point it is worth purchasing raw materials. The article discusses in detail the disadvantages and advantages of the mathematical model.

Keywords: supply chains, decision optimisation, mercantile exchange, mathematical model, optimal profit trajectory, shares of the useful volume of raw materials, lot delivery time.

For citation: Rogulin, R. S. Optimisation of Timber Supply Chains: Mathematical Model and Analysis of Regional Sources Using the Example of Primorsky Region. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 218–227. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-7>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Companies have long been developing and experimenting with innovative, flexible organisational and management solutions. The complexity of decision making in enterprises today is increasing, affecting sustainability of supply chains. Modern requirements include high quality, competitive prices and fast development times for software, models, and approaches [1–10].

Companies seeking to adapt to the current situation must follow trends and implement strategic systems using various management methods and optimisation tools. Analysing large volumes of data is becoming key to achieving customer satisfaction. The implementation of work results within the framework of Industry 4.0 can significantly improve decisions made at enterprises, meeting modern quality challenges [11–19].

Current research highlights the importance of customer satisfaction in supply chain management. This includes inventory management, changes in supply volumes over time and external factors. Advances in technology have led to changes in logistics and financial integration of business processes, reducing costs and providing personalised services with shorter delivery times [20–28].

Supply chains are now a network of interacting organisations that provide customised products and services. The effectiveness of the system depends on the interactive capabilities of network nodes and the use of interactive technologies. Stable relationships, coordination, efficient information flow and just-in-time inventory management are key characteristics of a successful supply chain.

LITERATURE REVIEW

Academic studies [2; 4; 6] highlight the impact of various factors, such as globalisation, on supply chain management. One area of research is the use of software and mathematical programming to simulate and model real-life scenarios to support strategic decision-making by managers. For example, work [1] presents a geometric programming model that solves the problem of price differentiation and production planning with profit maximisation at various sites in the supply chain, which was studied using the example of clothing supplies.

The article [5] addresses supply chain modelling using partial differential equations and

ordinary differential equations. Both numerical and exact optimisation methods for cost minimisation are discussed. In [7] the problem of outsourcing in supply chain management is solved, a mathematical model is proposed, and a numerical experiment is conducted using real data to determine the optimal balance between production and outsourcing with a minimum total supply chain cost.

Other studies [8; 23–25; 27] focus on modelling and optimisation of supply chains under various conditions of uncertainty and variability in the external environment. These works propose various mathematical models, including stochastic programming, branch-and-bound, and genetic algorithms, to improve the sustainability and efficiency of supply chains. Studies [24; 25; 27] also pay attention to formation of supply chains and calculate production volumes, considering adequate data forecast.

These diverse studies offer together in-depth opinion on various aspects of supply chain management, including price differentiation, outsourcing, and production optimisation, and provide useful insight into developing strategies in today's dynamic business environment.

The literature sources today actively discuss aspects of supply chain management (SCM), where models are becoming more and more multi-period and cover several target functions. The article [9] presents a multi-objective model of a production allocation problem in a supply chain involving suppliers, manufacturers, distributors, and customers. It uses a mixed integer linear programming (MILP) model for multi-period supply chain design. While the GFLP [generalised fuzzy linear programming] model is designed to optimise the production-distribution problem in a supply chain network.

The work [10] presents an operational policy for a three-stage supply chain that considers the degrading nature of raw materials and final products. The authors developed a model that was applied to a real-life case and demonstrated the ability to increase overall supply chain profits by 15 %.

The problem of redesigning the supply chain of consumer goods considering financial criteria and demand scenarios is considered in article [12], where a multi-objective mixed integer linear programming model is used. This model considers maximising the net present value of the supply chain and minimising financial risk.



In [17] a multi-objective model is developed to determine the optimal inventory levels and their distribution among suppliers with a focus on minimising costs and maximising quality. Work [18] presents a multi-period mixed integer nonlinear programming model for optimising decision-making in the field of sales of finished products. The results of testing the model on real data showed its ability to reduce operating costs.

A new business model for a multi-stage supply chain inventory management scheme is presented in the study [22]. This model was tested during 288 experiments assessing the impact of transshipment on supply chain performance. In [29], the problem of minimising the cost of supply chains for raw materials from a mercantile exchange is solved using two objective functions that help to account for costs and the minimum deviation from the calculated plan for purchasing raw materials.

Research in the field of supply chain management covers a variety of issues, as indicated by the work of other authors. For example, the work [3] presents data analysis for predicting failures in the first level supply chain. The results of the study indicate the effectiveness of mathematical functions, including flexibility, in predicting overdue orders with an accuracy of up to 80 %. The work [11] analysed quantitative models of sustainable supply chain management, highlighting that frequently created SCM models do not consider an important factor – life cycle analysis in the design of supply chain networks. An interesting approach is presented in [13], where coloured Petri nets are used to model supply chain management with a multi-agent structure, allowing us to specify the desired level of detail of the system. The problem of coordination in a sustainable supply chain, considering environmental and social awareness of consumers, is addressed in [14]. A game-theoretic approach is applied to optimise the chain, considering consumer sensitivity to the environmental quality of the product and the social responsibility of the supply chain. In [16], an overview of the use of fuzzy methods in supply chain modelling is presented, and the requirements for a mathematical model of an integrated supply chain are examined. A system dynamics model for visualising the supply chain when introducing additive manufacturing is presented in [19]. The developed model was validated, and the sensitivity analysis results confirmed its validity. The work [20] examines

supply chain network design by considering new product development and incorporating customer relationship management and demand uncertainty. The work was evaluated using data on a real enterprise. In [21] a risk-based optimisation system for supply chain management is proposed that integrates a genetic algorithm with a multilayer neural network. The results show a decrease in inventory levels and an increase in profits.

The topic under consideration in the context of SCM is relevant and has received significant attention in the literature. However, several important aspects should be highlighted that remain insufficiently covered.

1. Lack of analysis of raw material supply chain management in conditions of uncertainty and risks, especially from the point of view of mercantile exchanges. In modern conditions, raw material transactions are often carried out in B2B format between woodlot owners and processing enterprises. The introduction of mercantile exchange tools can improve transaction transparency, reduce times to establish communication and expand the customer base, which in turn will have a positive impact on price competitiveness and overall supply efficiency.

2. Insufficient attention has been paid to assessing the maximum possible profit over the entire planning horizon in conditions of uncertainty and with the peculiarities of the forestry industry. This problem is critical for assessing the effectiveness of IT solutions and the quality of organisational management in the context of SCM.

3. Lack of detailed consideration of the features of changes in the volume of wood in the timber industry during transportation. This aspect requires consideration when forming a production plan and managing the supply chain of raw materials before reaching the enterprise warehouse.

Thus, in-depth research on these aspects is necessary to better understand and develop supply chain management strategies.

OBJECTIVES, TASKS AND HYPOTHESIS OF THE RESEARCH

Let's consider the functioning of organisations in the timber industry. In this context, two key processes are important: transportation and acquisition of raw materials at mercantile exchanges, as well as the manufacture of various products based on existing stocks of raw

materials. To imagine the process more clearly, it is worth highlighting that raw materials at the exchange are provided by tenants and woodlot owners from different regions. These entities enter into agreements with the exchange, which gives them the right to trade on the site. When a transaction is concluded between the customer enterprise and the supplying woodlot owner, the declared volume of raw materials is sent to the customer [23; 25].

Typically, companies receive orders well in advance, which allows for long-term planning. However, it is worth noting that the demand for products in the forestry industry is subject to seasonal fluctuations, which creates difficulties in planning the company's activities [23; 25].

The main objective of the study is to develop a mathematical model capable of optimising the volume of output of goods for a forestry enterprise. This model considers the formation and receipt of supply chains of raw materials from the mercantile exchange and takes into account the conditions of supply and logistics uncertainty to maximise profits over the entire planning horizon.

To achieve this objective, the following research tasks were formulated:

1. To conduct an analysis of existing scientific works on the problem.

2. To develop an economic and mathematical model for forming supply chains of raw materials and determining the optimal volume of production of goods in conditions of accounting for applications and the time of delivery of lots to the enterprise warehouse.

3. To analyse the results of testing the model.

The research hypothesis is that there is a model that can effectively estimate the optimal profit trajectory over the entire planning horizon.

RESULTS

Mathematical Model

Manufacturing enterprises, including timber processing enterprises, cannot do without a stable raw material base. To analyse and use the raw material base, we will turn to the information provided by the St. Petersburg International Mercantile Exchange (hereinafter referred to as the exchange), which is available in the public domain. The exchange regularly provides data on completed transactions, their volumes, and prices, as well as on services for delivery of raw materials included in the total cost of goods. Many regions providing potential raw materials

are listed on the exchange [23; 25]. It is possible to purchase a lot only in full, in accordance with the rules of operation of the commodity exchange [23; 25].

The production process covers several stages: first, the raw materials arrive at the warehouse, then they are crushed into dust, after which they are pressed into oriented strand boards (OSB). OSB boards are produced separately regarding each type of raw material.

Transportation is carried out by rail using the Trans-Siberian Railway at the expense of the sender, who includes all costs of transporting the lot in its price.

Let us introduce notation for the parameters and variables of this system.

Parameters:

p_{km} – price of goods of type k on day m ;

c_{ilrm} – price of lot i of raw material of type l from region r , which appeared on the exchange on day m ;

A_{lk} – rate of consumption of raw materials of type l for production of a unit of goods of type k ;

γ_{im} – coefficient of spoilage of raw materials purchased on day $\tilde{m}$ till day m ($m \geq \tilde{m}$);

V_{ilrm} – volume of raw materials in lot i with type of raw materials l from region r , which appeared on the exchange on day m ;

H_{km} – maximum production volume of goods of type k on day m ;

$\underline{b}$ – emergency level of raw material reserves;

b – maximum warehouse capacity;

B_0 – initial budget;

FC – fixed costs;

M – planning horizon;

T_{rm} – the time it takes for a lot purchased on the day $\tilde{m}$ from region r to reach the warehouse;

L_r – distance from the warehouse to the region r ;

S_m – distance travelled by the lot regarded in application on day m ;

β – constant;

$\varepsilon^{(1)}$ – noise;

left and right – minimum and maximum values of a random variable distributed according to a uniform law;

$LN(a_m, \delta_m)$ – lognormal distribution of a random variable with parameters (a_m, δ_m) respectively;

E – number of different sets of input parameters $\{V_{ilrm}(e), c_{ilrm}(e), T_{rm}(e)\}$.

Variables:

x_{km} – volume of production of goods of type k on day m ;



λ_{ilm} – decision to purchase lot i of type of raw material l from region r , which appeared on the exchange on day m ;

b_{lm} – level of stock of raw material of type l in the warehouse on day m .

Let us denote the problem to be solved for each set of parameters e (the list of parameters is given above), as $F^{(1,1)}(e)$ that will take the form:

$$\sum_{k,m} p_{km} x_{km} - \sum_{i,j,r,m} c_{imr} \lambda_{imr} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$b_{lm} = b_{lm-1} - \sum_k A_{lk} x_{km} + \gamma_{mm} \sum_{i,r} V_{imr} \lambda_{imr}, \quad (2)$$

where the condition $\tilde{m} = m - T_{rm}$ is satisfied.

$$x_{km} \in \mathbb{N}; \quad (3)$$

$$\lambda_{ilm} = \{0; 1\}; \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_l b_{lm} \leq \bar{b}; \quad (5)$$

$$0 < b \leq b_{lm}; \quad (6)$$

$$B_0 + \sum_{m=1}^M \left(\sum_k p_{km} x_{km} - \sum_{i,j,r} c_{imr} \lambda_{imr} - FC \right) \geq 0, \underline{m} = 1: M, \quad (7)$$

where $\tilde{m} = m - T_{rm}$.

$$T_{rm} = m^* : \begin{cases} \left| L_r - \sum_{m=\tilde{m}}^m S_m \right| \rightarrow \min \\ L_r - \sum_{m=\tilde{m}}^m S_m \leq 0 \end{cases}; \quad (8)$$

$$S_m \sim \text{LN}(a_m, \delta_m); \quad (9)$$

$$\gamma_{mm} = \min \{1; \max[\dots]\};$$

$$\gamma_{mm} = \min \left(1; \max \left[0; 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \left(\beta(m - \tilde{m}) + \varepsilon^{(1)} \right) \right] \right); \quad (10)$$

$$\varepsilon^{(1)} \sim U(\text{left}, \text{right}); \quad (11)$$

$$0 \leq x_{km} \leq H_{km}. \quad (12)$$

Let us explain that in constraints (2) and (7) the values $V_{lm(m-T_{rm})}$ are written into the system of

constraints if and only if the condition $\tilde{m} = m - T_{rm}$

is satisfied. The problem $F^{(1,1)}(e)$ is solved for all $e = 1: E$.

Let's look at the mathematical expressions (1–12) in more detail. Objective function (1) strives to maximise total profit on the last day of planning. The level of raw material stock on day m is determined by formula (2), taking into account production costs, the balance of raw materials from the previous day, as well as the receipt of raw materials at the warehouse on the current day, taking into account travel time $\tilde{m}$ and the share of the useful volume of raw materials. The production volume (3) is limited to non-negative integer values. The decision to purchase a lot is made according to formula (4). The volume of raw materials in the warehouse

is limited at the top (5) and bottom (6) in accordance with the maximum capacity and the impossibility of negative values. Each enterprise operates within its own budget represented by constraint (7). The travel time for each application is calculated according to (8–9). The random variable of distance travelled by a lot on day m is assumed to have a lognormal distribution related to the seasonality of railway routes, the details of which can be studied in [25; 27; 29]. The coefficient of useful volume of raw materials is given by formulas (10–11). Let us assume that $\varepsilon^{(1)}$ has a uniform distribution, since there are no estimates of the change in the working volume of raw materials over time. The volume of production (12) is limited by physical reasons.

As follows from the description of the model $F^{(1,1)}(e)$, it is a nonlinear and stochastic programming problem. To solve the problem, it is necessary to consider a solution algorithm. The solution algorithm will take the form:

1. To define the values (8–9) and γ_{mm} taking into account (11);

2. To solve the mixed-integer programming problem (1–7, 12) for each data set e .

Calibration

The study of the model included testing on two sets of data: firstly, on data on the activities of an enterprise located in Primorsky region (hereinafter referred to as the Enterprise), and secondly, on generated data created by the author of the study.

Let's take a closer look at the process of generating data related to distribution of lots over time. For this purpose, information from the mercantile exchange for the period of 120 days starting from March 01, 2019 was used. Every 30 days, the mathematical expectation and dispersion of the number of applications, the volume of raw materials in each application and the average price per 1 m^3 were calculated. Then, using the normal distribution with the calculated characteristics, E data sets were created. The remaining parameters of logistics and production processes ($\bar{b}$, b , B_0 , FC , a_m , δ_m , β , L_r) were taken from the Enterprise data, corresponding to their estimates.

To be specific, let us assume $K = 4$ types of goods, planning horizon $M = 100$ days, types of raw materials $L = 2$, number of regions $R = 4$, number of lots each day in the range $0 \leq I \leq 6$, and number of different sets of input parameters $E = 400$. The exchange is represented by four

Table 1

Main input parameters of the Enterprise

$\forall m > 0: p_{km}, k = 1: K, \text{ rub.}$	$(1.01, 1.4, 1.65, 1.8) \cdot 10^4$
$\bar{b}, m^3$	3100
$\underline{b}, m^3$	19
$B_0, \text{ rub}$	$2.99 \cdot 10^6$
left(m), c. u.	$\frac{100}{m \cdot 10^5}$
right(m), c. u.	$\frac{100}{m \cdot 10^5}$
$\forall m, k > 0: H_{km}$	4
$L_r, r = 1: R, km$	(3750, 7540, 3260, 9010)

Sources: Enterprise, exchange, some data generated by the author.

Table 2

Cost of raw materials for production of a unit of goods

A_{lk}	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$
$l = 1$	2	3	4	3
$l = 2$	1	3	3	5

Sources: Enterprise. See notes to Table 1.

regions: Irkutsk region ($r = 1$), Perm region ($r = 2$), Republic of Buryatia ($r = 3$), Moscow region ($r = 4$). The planning horizon covers the period from March 1, 2019, to mid-June 2019.

The main input data characterising the activities of the Enterprise are presented in Tables 1–2.

To carry out the calculations, we will use the high-level programming language Matlab and the built-in `intlinprog` function to find solutions to mixed-integer linear optimisation problems.

DISCUSSION

Let's look at Pic. 1. This graph shows the dynamics of production volumes at the end of each day m . It is of interest that, despite the higher prices for goods 3 and 4, the results of the analysis indicate the stability of production volumes for goods of types 1 and 2 – their graphs are practically not subject to fluctuations, which cannot be said about goods 3 and 4.

Let's look at Pics. 2 and 3. They reflect the facts of decision-making regarding the purchase of lots for raw materials of type 1.

The most frequent regions for purchasing raw materials from the exchange throughout the planning horizon include the following regions: Buryatia and Irkutsk region. Based on the research results [23–25; 29], it follows that usually territorial proximity plays an important role in making decisions about the volumes of

purchased raw materials. Despite the territorial proximity of the PRC to Irkutsk region and the presence of a direct railway line¹, it does not affect the prices of raw materials. In addition, the fact of purchasing raw materials in a more remote region – Buryatia, affects the working volume of raw materials that arrives at the warehouse and travel time. The works [25; 29] demonstrate that it is mainly worth purchasing raw materials in Irkutsk region, which runs counter to the results of the current study.

Pic. 4 shows the profit indicator π_m (e) for each day. It can be seen that the influence of fixed costs on the current profit value is rather small. The lag from the average profit value is observed only in a small number of cases.

Let's consider the positive and negative aspects of the resulting model.

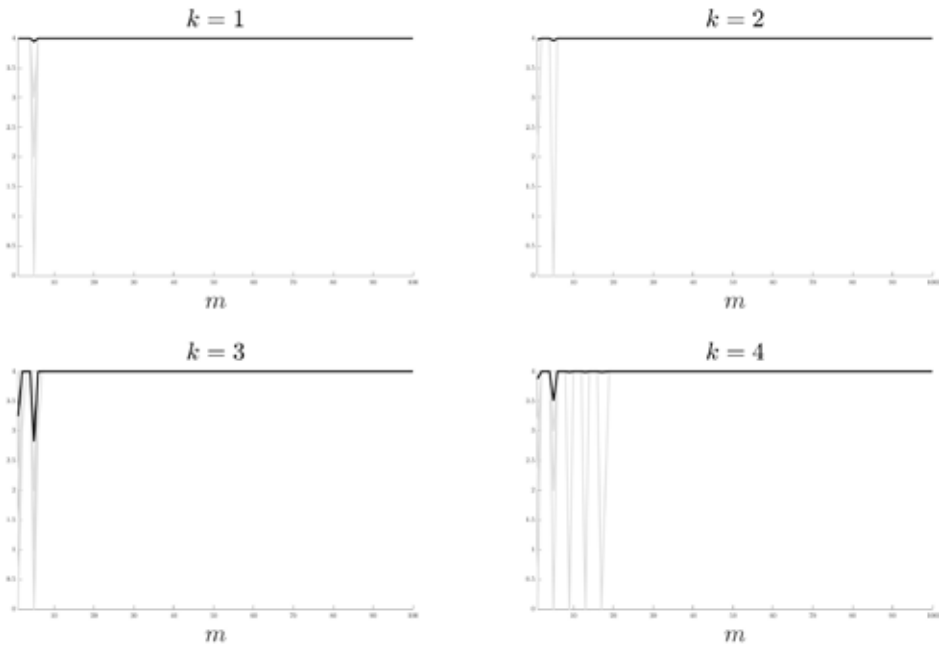
1. Negative aspects:

1.1. In real production, during the planning process, it is hardly possible to imagine a situation where managers responsible for making decisions can know the real time distribution of lots with all their characteristics, so it is important:

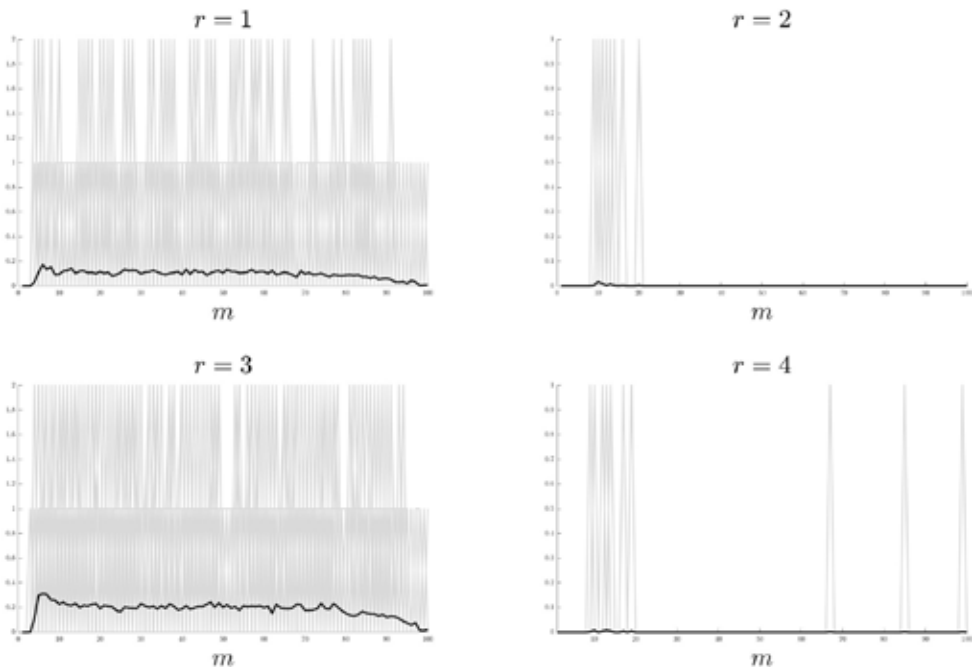
1.1.1. To collect various data related to the problem over a large period of time, but only data from the beginning of the 2010s is available on

¹ Maps of international transport corridors (Eurasia). Express+. [Electronic resource]: <http://www.expresstk.ru/wp-content/uploads/2017/08/Evroaziatskie-transportnye-koridory.pdf>. Last accessed 27.04.2023.





Pic. 1. Visualisation of production volumes.
Source: developed by the author based on Enterprise data and mathematical model output.

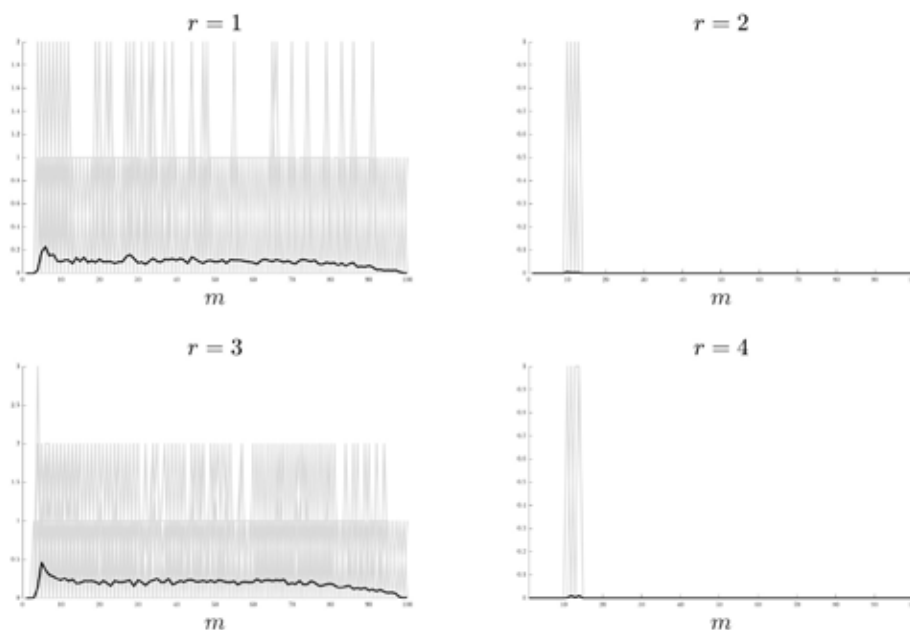


Pic. 2. Visualisation of the frequency of purchasing lots from each region ($l = 1$).
Source: developed by the author based on Enterprise data and mathematical model output data.

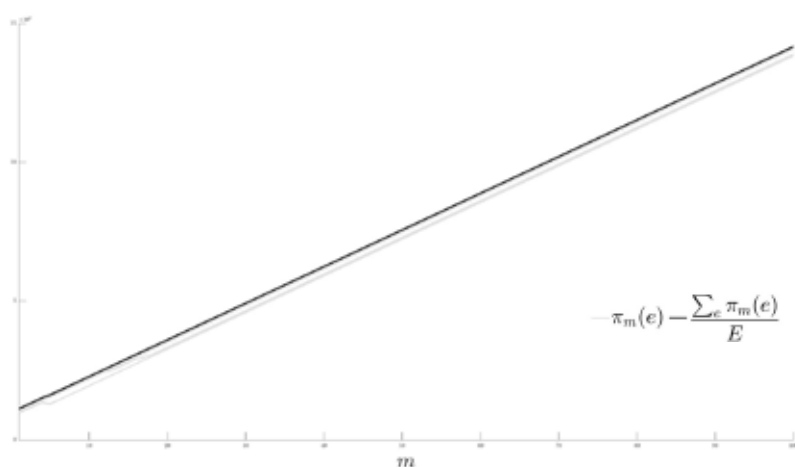
the exchange website, which makes it extremely difficult to form a sufficient sample of data for analysis. It is worth noting that over time this problem becomes less relevant, as the volume of reports on completed transactions grows.

1.1.2. To build complex mathematical models for the most accurate forecast of distribution of applications over time. However, in the auction

theory it has long been known that predicting situations on exchanges is a rather difficult task, since on exchanges, as private investors are admitted to them (in the context of the current problem – small enterprises), the influence of sentiment increases, and the latter are very difficult to predict. Based on this argument, the relevance of developing methods for forecasting



Pic. 3. Visualisation of the frequency of acquisition of lots from each region ($l = 2$).
Source: developed by the author based on Enterprise data and mathematical model output.



Pic. 4. Visualisation of profit values.
Source: developed by the author based on Enterprise data and mathematical model output data.

situations on exchanges not only for securities, but also for raw materials, is growing sharply.

1.2. A rapidly growing number of limitations due to the linearity of the model [24].

1.3. For each day, it is necessary to know the parameters a_m, δ_m , which may change over the years.

1.4. There is no clear explanation about the admissibility of using a lognormal distribution of the distance travelled by a lot.

1.5. The parameter β should also change over time, because in summer, changes in the useful volume of raw materials decrease faster under the influence of temperature, moisture and the mechanical impact of insects [29].

1.6. In real conditions, constraint (12) should include the value $\min(H_{km}, Q_{km})$ as an upper estimate, where Q_{km} is the demand for goods of type k on day m , which will significantly clarify the solution to the problem.

1.7. There is no possibility to choose acceptable level of risk, which is extremely important in choosing a strategy for forming a «commodity portfolio» in modern conditions.

1.8. Enterprises in the timber industry do not always use only the exchange as a source of raw materials, but often conclude direct B2B contracts, which level out risks – this possibility is not present in the model.



2. Positive aspects:

2.1. For an upper estimate of profitability of production even on the scale of the largest company in the timber industry sector of the Russian Federation, with sufficiently large values of the amount of raw materials, lots and regions on the stock exchange, this model can be effective with a planning horizon of one year, which is the most common at enterprises in this industry [23–26].

2.2. Conceptual simplicity of the model.

2.3. Possibility of tracking time in transit of a lot.

2.4. Availability of a coefficient of useful volume of raw materials for production.

2.5. Availability of known optimisation methods for linear programming problems [29].

Thus, it can be argued that the hypothesis about the existence of a model that allows one to evaluate the upper estimate of the optimal profit value for an enterprise in the timber industry when interacting with a mercantile exchange is confirmed and an assessment tool can be developed, and its example is given in this article.

CONCLUSION

In the work, a model has been developed that allows us to determine the upper limit of profit based on available data on distribution of lots over time. A special feature of the model is its ability to consider the travel time of lots and estimate their useful volume for subsequent processing. Various key factors of forestry production are considered, such as formation of raw material supply chains and the volume of OSB production within the enterprise, based solely on the company's budget.

The model also takes into account the operating scheme of the mercantile exchange, limiting the scheme to purchasing only full lots. The model solution includes daily production of each type of product, the current budget status, a list of supply chains in progress, the level of raw material inventory in the warehouse, considering its capacity and safety stocks. The formation of supply chains for raw materials is carried out in accordance with the principles of «just-in-time». The process of finding the optimal solution is automated in accordance with a pre-selected optimisation algorithm.

From a practical point of view, this model is of interest to top management of forestry

enterprises who seek to assess the effectiveness of their activities. From a theoretical point of view, the contribution made by the model expands the field of economics and mathematics in the economic sciences, in particular, in the theory of decision making.

The model was successfully tested at one of the leading timber processing enterprises in Primorsky region. After carrying out calculations and determining the optimal solution, recommendations were formulated for the company's management regarding cooperation with the Russian mercantile exchange. In general, the calculations made allow us to draw conclusions about the possibility of concluding rational transactions on the Russian mercantile exchange.

For a more accurate assessment of the upper limit of profit, it seems advisable to introduce additional constraints related to technological production processes, the acceptability of the degree of risk, and clarify the calculations of certain parameters (for example, a_m , δ_m , β) that affect travel time and the working volume of raw materials upon arrival at the warehouse, as well as to consider transport and resource risks through the possibility of concluding direct contracts with suppliers and introducing a demand function for final goods. Both positive and negative aspects of the proposed model have been considered.

REFERENCES

1. Ghasemy, Y. R. Enhancing supply chain production-marketing planning with geometric multivariate demand function (a case study of textile industry). *Computers & Industrial Engineering*, 2020, Vol. 140 (19), 106220. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106220.
2. Maina, J., Mwangangi, P. W. A Critical Review of Simulation Applications in Supply Chain Management. *Journal of Logistics Management*, 2020, Vol. 9. pp. 1–6. DOI: 10.5923/j.logistics.20200901.01.
3. Brintrup, A., Pak, J., Ratiney, D., Pearce, T., Wichmann, P., Woodall, P., McFarlane, D. Supply chain data analytics for predicting supplier disruptions: a case study in complex asset manufacturing. *International Journal of Production Research*, 2020, Vol. 58, pp. 3330–3341. DOI: 10.1080/00207543.2019.1685705.
4. Dominguez, R., Cannella, S. Insights on Multi-Agent Systems Applications for Supply Chain Management. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, Iss. 5, 1935. DOI: 10.3390/su12051935.
5. Luigi, R., Stamova, I. M., Tomasiello, S. Numerical schemes and genetic algorithms for the optimal control of a continuous model of supply chains. *Applied Mathematics and Computation*, 2021, Vol. 388, 125464. DOI: 10.1016/j.amc.2020.125464.
6. El Raoui, H., Oudani, M., El Hilali Alaoui, A. Coupling Soft Computing, Simulation and Optimization in Supply Chain Applications: Review and Taxonomy. *IEEE Access*, 2020, Vol. 8, pp. 31710–31732. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973329.

7. Alkahtani, M. Mathematical Modelling of Inventory and Process Outsourcing for Optimization of Supply Chain Management. *Mathematics*, 2022, Vol 10 (7), 1142. DOI: 10.3390/math10071142.
8. Sadeghi, Z., Boyer, O., Sharifzadeh, S., Saeidi, N. A Robust Mathematical Model for Sustainable and Resilient Supply Chain Network Design: Preparing a Supply Chain to Deal with Disruptions. *Complexity*, 2021, pp. 1–17. DOI: 10.1155/2021/9975071.
9. Goodarzian, F., Shishebori, D., Nasser, H., Dadvar, F. A bi-objective production-distribution problem in a supply chain network under grey flexible conditions. *RAIRO Operations Research*, 2021, Vol. 55, pp. 1287–1316. DOI: 10.1051/ro/2020111.
10. Taghizadeh-Yazdi, M., Farrokhi, Z., Mohammadi-Balani, A. An integrated inventory model for multi-echelon supply chains with deteriorating items: a price-dependent demand approach. *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 37, pp. 87–96. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/303876476_An_Integrated_Location-Inventory_Model_for_Supply_Chain_Network_with_Correlated_Demand. Last accessed 28.05.2023.
11. Flores-Sigüenza, P., Marmolejo-Saucedo, J. A., Niembro-García, J., López-Sánchez, V. M. A systematic literature review of quantitative models for sustainable supply chain management. *Mathematical biosciences and engineering: MBE*, 2021, Vol. 18, Iss. 3, pp. 2206–2229. DOI: 10.3934/mbe.2021111.
12. Escobar, J. W., Marin, A. A., Lince, J. D. Multi-objective mathematical model for the redesign of supply chains considering financial criteria optimization and scenarios. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 2020, Vol. 16, Iss. 2, pp. 238–256. DOI: 10.1504/IJMOR.2020.105903.
13. Fierro, L. H., Cano, R. E., García, J. I. Modelling of a multi-agent supply chain management system using Colored Petri Nets. *Procedia Manufacturing*, 2020, Vol. 42, pp. 288–295. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.095.
14. Heydari, J., Rafiei, P. Integration of environmental and social responsibilities in managing supply chains: A mathematical modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, Vol. 145, Iss. 1, 106495. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106495.
15. Schroeder, M., Lodemann, S. A Systematic Investigation of the Integration of Machine Learning into Supply Chain Risk Management. *Logistics*, 2021, Vol. 5, Iss. 3, 62. DOI: 10.3390/logistics5030062.
16. Nishanth, B., Priyanka, S., Kannan, V., Muhammad Raheel Basha, A., Dinesh, J., Muruganandham, R., Harish, V. Mathematical modelling of supply chain under current COVID-19 business scenario with the review study on the fuzzy logic based supply chains. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*, 2020, Vol. 7, Iss. 2, 4972–4981. [Electronic resource]: <https://ejmcm.com/uploads/paper/73dde990bead52540d9f9726638c2d70.pdf>. Last accessed 28.05.2023.
17. Saad, E., Fathi Hafshjani, K., Radfar, R. Designing a Multi-Objective Closed-loop Supply Chain Mathematical Model with Supplier Selection Approach and considering Discount. *Engineering Management and Soft Computing*, 2022, Iss. 8 (2), pp. 43–71. [Electronic resource]: https://jemsc.qom.ac.ir/article_1609_dc0a78aa66f060c25ed1968d95cc9a34.pdf?lang=en. Last accessed 28.05.2023.
18. Teixeira, A., Silva, E. C., Lopes, C. A mixed integer nonlinear multiperiod model for supply chain management of a company in the retail sector // *RAIRO – Operations Research*, 2021, Vol. 55, Iss. 2, pp. 997–1013. DOI: 10.1051/ro/2021048.
19. Nuñez Rodriguez, J., Andrade Sosa, H. H., Villarreal Archila, S. M., Ortiz A. System Dynamics Modeling in Additive Manufacturing Supply Chain Management. *Processes*, 2021, Vol. 9, 982. DOI: 10.3390/pr9060982.
20. Rezaei, E., Paydar, M. M., Safaei, A. S. Customer relationship management and new product development in designing a robust supply chain. *RAIRO – Operations Research*, 2020, Vol. 54, pp. 369–391. DOI: 10.1051/ro/2018107.
21. Nezamoddini, N., Gholami, A., Aqlan, F. A risk-based optimization framework for integrated supply chains using genetic algorithm and artificial neural networks. *International Journal of Production Economics*, 2020, Vol. 225, 107569. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.107569.
22. Cesarelli, G., Scala, A. E., Vecchione, D., Ponsiglione, A., Guizzi, G. An Innovative Business Model for a Multi-echelon Supply Chain Inventory Management Pattern. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, Vol. 1828, pp. 1–10. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012082.
23. Rogulin, R. S., Mazelis, L. S. Algorithm and mathematical model for formation of sustainable supply chains of wood raw materials from Russian regions: comparison and analysis [Algoritmi matematicheskaya model formirovaniya tsepochek postavok drevesnogo syriya iz regionov Rossii: sravnenie i analiz]. *Perm University Herald. Economy*, 2020, Vol. 15, Iss. 3, pp. 385–404. DOI: 10.17072/1994-9960-2020-3-385-404.
24. Rogulin, R. S. Modeling of Promising Interaction Between a Timber Industry Enterprise and a Commodity Exchange in Russia. *Journal of Applied Economic Research*, 2020, Vol. 19, Iss. 4, pp. 489–511. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.4.023.
25. Rogulinn, R. S. A model for optimizing plans for procurement of raw materials from regions of Russia in a timber-processing enterprise. *Business Informatics*, 2020, Vol. 14, Iss. 4, pp. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35.
26. Rogulin, R. S. The Place of ICT and Entrepreneurship in Forming Sustainable Supply Chains. *Economic Policy*, 2021, Vol. 16, Iss. 4, pp. 84–103. DOI: 10.18288/1994-5124-2021-4-84-103.
27. Rogulin, R. S. A mathematical model for the formation of the pricing policy and the plan of the production and transport system in a timber-processing enterprise. *Business informatics*, 2021, Vol. 15, Iss. 3, pp. 60–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.60.77.
28. Rogulin, R. S. The Role of ICT and Entrepreneurship in Forming Sustainable Supply Chains: Before and After the Covid-19 Pandemic. *Journal of Applied Economic Research*, 2021, Vol. 20, Iss. 3, pp. 461–488. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.3.019.
29. Mazelis, L., Rogulin, R. Devising a method for the formation of sustainable chains of supply of raw materials from mercantile exchange to a timber processing enterprise considering uncertainties and risks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, Vol. 5, Iss. 3 (113), pp. 6–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242960.

Information about the author:

Rogulin, Rodion S., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Mathematics and Modelling of Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russia, rafassiaofusa@mail.ru.

Article received 29.03.2023, approved 17.07.2023, accepted 21.07.2023.





Development of Proposals for Increasing the Efficiency of Using Domestic High-Capacity Rolling Stock in the South of Russia



Vladislav A. RAKHAEV



Elena L. KUZINA



Marina A. VASILENKO

Vladislav A. Rakhaev¹, Elena L. Kuzina², Marina A. Vasilenko³

^{1, 2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

³ Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia.

✉ ³ margo2026@yandex.ru.

ABSTRACT

The main trend in development of high-capacity rolling stock used in the South of Russia is specialisation of coaches. The article considers the advantages of double-decker trains compared to traditional single-decker trains. Double-decker trains make it possible to carry out multimodal transportation of passengers in conditions of increased demand and a decrease in alternative offers from other modes of transport, increase the capacity of passenger rolling stock, the transit capacity of the railway infrastructure, and ensure the most rational use of the dimensions of the rolling stock. As a result, the carrying capacity of railway lines increases with minimal costs since energy costs for traction and traction-related costs are reduced.

The authors analysed and constructed a model for replacing traditional single-decker rolling stock with more spacious double-

decker rolling stock. The dependence of the volume of traffic on passenger flow and a potential area of replacing single-decker trains with double-decker trains are shown. A nomogram is presented for the dependence of the volume of transport services for the population on the regularity of train schedule. A general algorithm for assessing and selecting potential opportunities for assigning double-decker trains in the South of Russia is considered.

Scenarios have been proposed for changing the category of transport services under the conditions of increased demand while replacing single-decker cars with double-decker ones. The annual effect from replacing single-decker cars with double-decker ones was calculated together with the total investment effect.

Keywords: railway transport, rolling stock, route, transportation, passenger flow, transport accessibility, algorithm, model, increased demand.

For citation: Rakhaev, V. A., Kuzina, E. L., Vasilenko, M. A. Development of Proposals for Increasing the Efficiency of Using Domestic High-Capacity Rolling Stock in the South of Russia. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 228–235. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-8>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

In modern conditions of increased demand for passenger travel, the use of passenger coaches with increased capacity is an effective tool for improving the implementation of the passenger transport capacity, along with organisational measures to optimise the route network and increase the ratio of operation of time and technical resources of rolling stock [1]. An increase in the number of seats in a coach without worsening travel conditions for passengers is achieved through creation and operation of double-decker passenger rolling stock [2].

Currently, foreign and domestic manufacturers have a wide product line of double-decker rolling stock, for use with both locomotive and multiple unit traction:

- 1) Bombardier Double-deck Coach – a model of a German-made double-deck passenger train¹;
- 2) TGV Duplex – a model of a French-made double-decker passenger train²;
- 3) Stadler KISS RUS – a model of double-decker Swiss-made passenger train operated by LLC Aeroexpress³;
- 4) Double-decker passenger coaches manufactured in Russia by Tver Carriage Works, operated by Russian Railways⁴.

Advantages of double-decker trains compared to traditional (single-decker) comprise:

1. The ability to assign double-decker trains at a convenient time to transport a large number of passengers in conditions of limited transit capacity without occupying a scarce additional line of the schedule.

2. Reduced ticket prices for 2-class sleeping compartment and 1-class sleeping compartment due to the larger number of seats provided and lower unit costs (cost) of transportation.

3. Modern, technologically advanced and environmentally friendly trains that meet high performance standards.

The capacity of double-decker coaches is significantly higher than that of single-decker coaches, as shown in Table 1.

As an example, the 2022/2023 schedule of double-decker trains on the routes shown in Table 2 is considered.

In addition, double-decker electric trains produced by the Swiss company Stadler Rail are used by LLC Aeroexpress to organise multimodal transportation of passengers from/to airports of Moscow aviation hub [3; 4].

The *objective* of the study was to analyse and construct a model of replacement of conventional single-decker rolling stock with double-decker coaches of enlarged capacity using the example of routes towards the South of Russia.

RESULTS

For the analysis and further construction of a model for replacing traditional single-decker rolling stock with more spacious double-decker rolling stock, the following train operating directions were selected (Table 3).

The analysis of existing routes of double-decker trains indicates the identified patterns:

1. The routes of double-decker trains connect transport areas with high-intensity passenger traffic. Such transport connections are typical for correspondence with (from) the capital of the Russian Federation – Moscow and cities with a population of over a million, resorts of federal significance and centres of federal districts.

2. St. Petersburg is a point of attraction as well with similar types of transport connections and the status of transport centre.

3. On the routes of double-decker trains, there are also significant traffic volumes operated by traditional single-decker trains, which provide a high level of transport accessibility to the destinations.

4. The appointment of a double-decker train to replace several single-decker trains on a route may already be advisable with an annual passenger flow of more than 500–600 thousand people in one direction and the presence of 5–6 daily trains.

Pic. 1 shows the relationship between the size (volume) of traffic and passenger flow and the potential area for replacing single-decker trains with double-decker trains.

To display the dependence of the level of transport accessibility on the regularity of transport services, a nomogram was developed that is presented in Pic. 2. The x-axis indicates

¹ Bombardier to Deliver TWINDEXX Double-deck Coaches and TRAXX Locomotives for Long-distance Routes to Deutsche Bahn AG. [Electronic resource]: <https://bombardier.com/en/media/news/bombardier-deliver-twindexx-double-deck-coaches-and-traxx-locomotives-long-distance>. Last accessed 27.09.2023.

² Perren B. Modern Railways, 2009, № 725, p. 63–69 [materials of the company Alstom (www.transport.alstom.com/home)].

³ Two-level high-speed electric train ESh2 KISS RUS (AERO). Innovation digest. JSC Russian Railways. Last accessed 24.09.2023.

⁴ The bilevel passenger car with sleeping compartments. Tver Carriage Works. [Electronic resource]: http://www.tvz.ru/catalog/passenger/item_detail.php?ELEMENT_ID=1949. Last accessed 17.09.2023.



Table 1
Comparison of a single-decker coach with a double-decker one*

Type of a car	Single-decker car of a train	Double-decker car of a train	Increase percentage (%)
2-class sleeping compartment	36	64	77,8
SV (sleeping car of increased comfort)	18	30	66,7
Staff compartment car	18–24	50	108,3–177,8

*Tables 1–3, charts and graphs in Pics. 1–3 are compiled by the authors based on the data published by JSC FPC.

Table 2
Double-decker train routes

Train number	Name and train route	Frequency
№ 3/4	Branded train «Caucasus» Kislovodsk – Moscow	daily
№ 5/6	Branded train Moscow – St. Petersburg	daily
№ 17/18	Branded train «Karelia» Petrozavodsk – Moscow	daily
№ 21/22	Branded train «Ulyanovsk» Ulyanovsk – Moscow	daily
№ 22/21	Train St. Petersburg – Murmansk	daily
№ 24/23	Branded train «Premium» Moscow – Kazan	daily
№ 25/26	Branded train «Italmas» Moscow – Izhevsk	daily
№ 25/26	Branded train «Smena A. Betancourt» Moscow – St. Petersburg	five times a week, in summer – daily
№ 29/30	Train St. Petersburg – Belgorod	daily
№ 35/36	Branded train «Northern Palmyra» St. Petersburg – Adler	daily
№ 43/44	Train St. Petersburg – Kostroma	twice a week, in summer – daily
№ 49/50	Branded train Samara – Moscow	daily
№ 51/52	Branded train «Sura» Penza – Moscow	daily
№ 53/54	Branded train «Chuvashia» Cheboksary – Moscow	daily
№ 57/58	Branded train «Mari El» Yoshkar-Ola – Moscow	daily
№ 65/66	Train Tolyatti – Moscow	daily
№ 104/104	Branded train Moscow – Adler	daily
№ 107/108	Train Moscow – Bryansk	on certain dates, from 15.05.22 – once a week
№ 137/138	Train Moscow – Orenburg	daily, the route was extended to Orsk and the train was rebranded as «Orenburg» Moscow – Samara – Orsk train under number 31/32.
№ 159/160	Train Petrozavodsk – Moscow	daily
№ 175/176	Train St.Petersburg – Moscow	in summer twice a week
№ 542/541	Train Adler – Moscow	in September-October 2022 on certain dates
№ 569/570	Train Samara – Imeretinskiy kurort	from June to September 2022 on certain dates
№ 737/738	Rapid train «Ivan Paristiy» Moscow-Bryansk	daily
№ 739/740	Rapid train «Ivan Paristiy» Moscow-Bryansk	daily
№ 741/742	Rapid train «Ivan Paristiy» Moscow-Bryansk	daily
№ 737/738	Rapid branded train Moscow – Voronezh	daily
№ 739/740	Rapid branded train Moscow – Voronezh	daily

Table 3

Double-decker train routes (for analysis and calculations)

Train number	Name and train route	Frequency
№ 3/4	Branded train «Caucasus» Kislovodsk – Moscow	daily
№ 5/6	Branded train Moscow – St.Petersburg	daily
№ 22/21	Train St.Petersburg – Murmansk	daily
№ 24/23	Branded train Moscow – Kazan	daily
№ 49/50	Branded train Samara – Moscowa	daily
№ 104/104	Branded train Moscow – Adler	daily
№ 741/742	Rapid train «Ivan Paristiy» Moscow – Bryansk	daily

the regularity of the train: from once a week to the shuttle-like (equal interval) mode. Categories of transport services offered to passengers are indicated on the ordinate axis.

Based on the data in Table 3, nomograms of selected routes for double-decker and single-decker trains were constructed as presented in Pic. 3.

Analysis of the nomogram allows us to conclude that three routes provide a high level of transport service according to quality criteria:

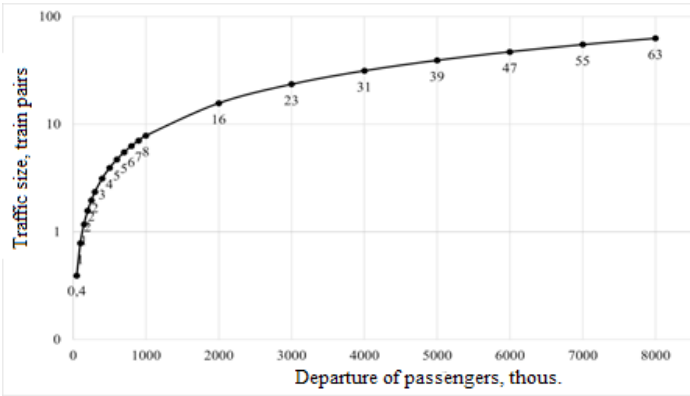
- Moscow – Bryansk;

- St. Petersburg – Murmansk;
- Moscow – Kislovodsk.

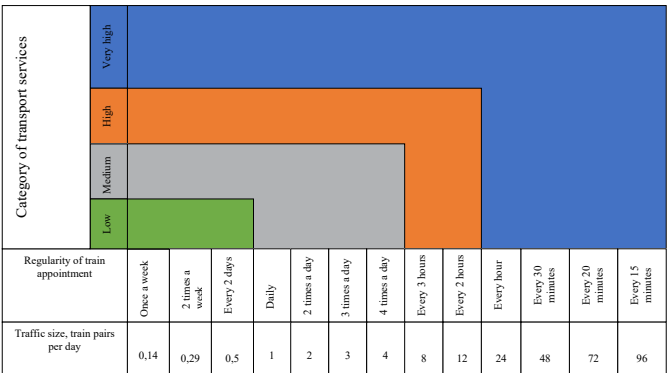
Four routes provide a very high level of transport service:

- Moscow – St. Petersburg;
- Moscow – Kazan;
- Moscow – Samara;
- Moscow – Adler.

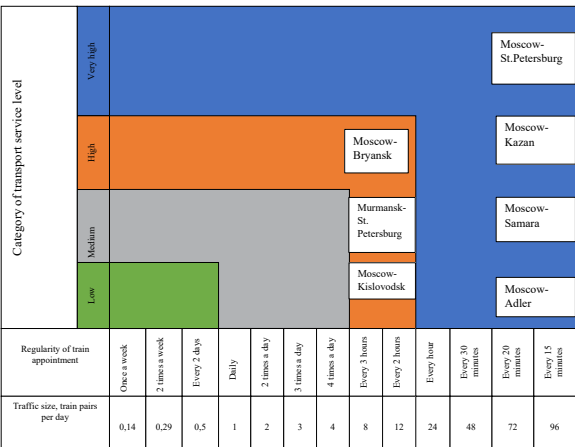
Based on the analysis and nomograms developed the dependence of the level of transport accessibility on the regularity of communication between transport centres, the



Pic. 1. Graph of dependence of traffic size per day on the number of passengers departed.



Pic. 2. Nomogram of dependence of category of transport service for passengers on regularity of train appointment.



Pic. 3. Nomogram of the category of transport service for passengers for the selected double-decker trains.

conditions can be formulated for replacing traditional single-decker rolling stock with more spacious double-decker cars [5].

To select potential destinations for double-decker trains, an algorithm and a two-step model have been developed, presented in Pic 4.

At the first step, the compliance of the selected route for organisation of traffic of double-decker trains with the set of the following conditions is sequentially checked:

1. Availability of the technical ability to organise traffic of double-decker trains in terms of dimensional limitations of railway transport infrastructure facilities (tracks and artificial structures, contact network, dimensions of approaching buildings), traction rolling stock, as well as double-decker passenger coaches themselves, including their dimensions, equipment, maintenance and planned types of maintenance and repair, the ability of stations and stopping points to carry out operations for boarding and disembarking passengers.

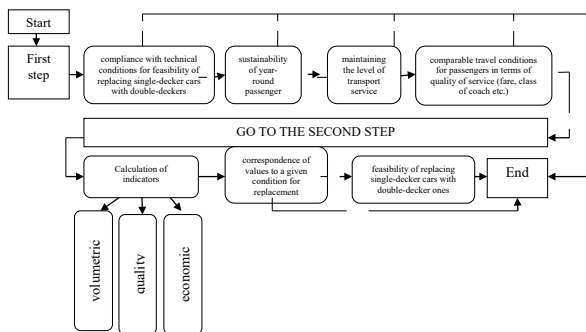
2. The presence of a stable year-round passenger flow between transport centres on the route, the status of transport centres identified in this section, as well as sufficient

intensity of transport connections between transport centres on the potential route of a double-decker train, providing for the need for daily assignment of trains with great regularity throughout the day [6].

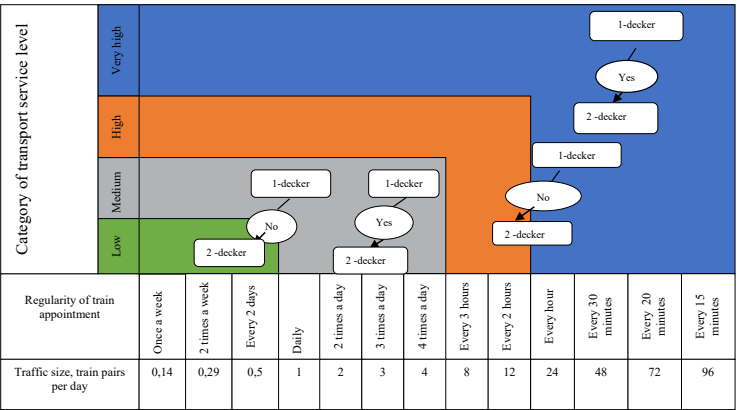
3. Maintaining (not deteriorating) the level of transport services for the passengers when replacing two single-decker trains with one double-decker. The reduction in traffic volume caused by replacement should not be accompanied by a decrease in the category (quality) of transport services indicated on the nomogram (Pic. 4).

4. The coaches within a double-decker train must provide travel conditions for passengers comparable with those in the single-decker trains it replaces in terms of the number of seats, class of coaches, fare, and range of services.

Thus, all four conditions are evaluated sequentially. At the same time, a critical condition for the potential start of operation of a double-decker train is maintaining the quality of the transport services offered to passengers [7]. Pic. 5 shows possible scenarios in which replacing trains with single-decker coaches with double-decker trains is possible or impossible.



Pic. 4. General algorithm for assessing and selecting potential destinations for double-decker trains [developed by the authors].



Pic. 5. Scenarios for changing the category of transport service and the possibility of replacing single-decker trains with double-decker trains [developed by the authors].

The second step of the proposed model for selecting potential destinations for double-decker trains involves performing calculations to assess the volumetric, quality, and economic indicators of train operation for various alternatives for the use of passenger rolling stock, as well as assessing the effect of making these decisions [8].

At the same time, to consider the operating features of double-decker coaches replacing single-decker coaches, the methodology should be completed with several features:

- 1) It is necessary to take into account that one double-decker train on the same route replaces 2 single-decker trains, providing a comparable volume of passenger transportation.
- 2) This circumstance will entail for a double-decker train a twofold reduction in the size of traffic, of the need for infrastructure services, locomotive traction and passenger cars.
- 3) To organise traffic for a double-decker train, the use of series of traction rolling stock of similar

power will be required, which will not affect the cost of paying for locomotive traction services. This is due to differences in the weight of single-decker and double-decker coaches within 10–20 % and an equal number of coaches in the train.

4) The cost of double-decker passenger coaches is almost 2 times higher compared to single-decker coaches. Also, the costs for planned types of technical maintenance and repair are higher (according to expert evaluation by 1,7 times). At the same time, the cost of servicing one double-decker coach in terms of wages of car attendants is lower than for two single-decker coaches.

5) When determining the feasibility of replacing double-decker trains with single-decker ones, the condition of invariability of indicators associated with the use of the car’s time budget and its technical resource is accepted (the same schedule and turnover of the passenger train is maintained, the use of the coach’s technical resource is assumed to be the same) [9].

Table 4

Regularity of train traffic in the southern direction (number of pairs of trains per day)

Route	Number of pairs of trains per day	Regularity of appointment (average) (interval in hours)
Moscow – Adler	7	Every 3 hours 40 minutes
Moscow – Simferopol	6	Every 4 hours
Moscow – Novorossiysk	6	Every 4 hours
Moscow – Anapa	8	Every 3 hours

Table 5

Regularity of train traffic, adjusted when double-decker trains are introduced in the southern direction (number of pairs of trains per day)

Route	Number of pairs of trains per day	Regularity of appointment (average) (interval in hours)
Moscow – Adler	6	Every 4 hours
Moscow – Simferopol	5	Every 4 hours 55 minutes
Moscow – Novorossiysk	5	Every 4 hours 55 minutes
Moscow – Anapa	7	Every 3 hours 24 minutes



Table 6

Calculation of financial results from replacing single-decker coaches with double-decker coaches

Indicator	Indicator's value		Effect from indicator's change «-» – saving, «+» – increase
	Single-decker cars	Double-decker cars	
Passengers transported, thous. persons	416,0	416,0	0,0
Passenger-km, mln	742,3	742,3	0,0
Number of trains, units	8	4	-4,0
Number of coaches, units	64	32	-32,0
Operating expenses, million rubles	1768,9	1021,4	-747,5
Revenues, million rubles	1725,1	1725,1	0,0
Financial result (EBIT) per year, million rubles	-43,7	703,8	747,5
Financial result (EBITDA) per year, million rubles	110,9	852,8	741,9

Table 6

Calculation of financial results from replacing single-decker coaches with double-decker coaches

Indicator	Indicator's value		Effect from indicator's change «-» – saving, «+» – increase
	Single-decker cars	Double-decker cars	
Passengers transported, thous. persons	416,0	416,0	0,0
Passenger-km, mln	742,3	742,3	0,0
Number of trains, units	8	4	-4,0
Number of coaches, units	64	32	-32,0
Operating expenses, million rubles	1768,9	1021,4	-747,5
Revenues, million rubles	1725,1	1725,1	0,0
Financial result (EBIT) per year, million rubles	-43,7	703,8	747,5
Financial result (EBITDA) per year, million rubles	110,9	852,8	741,9

Table 7

Total investment effect from replacing single-decker coaches with double-decker coaches

Indicator	Indicator's value		Effect from indicator's change «-» – saving, «+» – increase
	Single-decker cars	Double-decker cars	
Required number of coaches, units	64	32	-32
Average cost of coaches' purchase, million rubles	55,4	106	50,6
Expenses for coaches' purchase, million rubles	3545,6	3392	-153,6
Required number of train locomotives, units	8	4	-4
Average cost of purchasing a train locomotive, million rubles	172,3	172,3	0,00
Expenses for purchase of train locomotives, million rubles	1378,7	689,3	-689,3
Savings in investment costs for rolling stock, million rubles	-842,9		

To test the model of replacing single-decker coaches with double-decker ones, the authors selected a set of southward routes that demonstrate an urgent need to assign double-decker trains in a larger volume:

- Moscow – Adler;
- Moscow – Simferopol;

- Moscow – Novorossiysk;
- Moscow – Anapa.

The routes fully comply with the conditions of three stages of checking the first step of the algorithm, except for one, that of compliance (non-deterioration) with the initial category of the transport services offered.

To determine the category of the transport services offered, Table 4 presents a possible regularity of traffic (number of pairs of trains per day).

According to the nomogram shown in Pic. 3, all routes fall into the «high level» category of quality of services offered. If two single-decker trains are replaced with one double-decker train on the given routes, the number of pairs of trains per day, as well as the regularity of destinations, will decrease (Table 5).

The results obtained allow us to conclude that Moscow – Simferopol and Moscow – Anapa routes, in case of replacing two single-decker trains with one double-decker, would be subject to reduction of quality of transport service by one category: going from high to medium one. This condition is critical in the model, so these directions are excluded from the algorithm [10; 11].

Two routes Moscow – Adler and Moscow – Novorossiysk are allowed to be considered at the second step of the algorithm for calculations.

To carry out the calculations, the route Moscow – Adler was chosen.

The results of calculations comparing options for organising transportation on the route Moscow – Adler in single-decker and double-decker trains are shown in Tables 6 and 7.

CONCLUSIONS

Thus, the study made it possible to develop an algorithm and model for assessing feasibility of replacing traditional single-decker rolling stock with a double-decker one for routes with a stable high passenger flow while maintaining the quality of transport services offered to passengers. This study was conducted to substantiate the need to replace single-decker coaches with double-decker ones under the conditions of increased demand.

REFERENCES

1. Suvorova, T. A. Double-deck rail passenger trains. History of foundation and development. *Vysnik PGASA*, 2011, Iss. 8 (161), pp. 55–64. EDN: WINLGT.
2. Double-decker passenger cars from Görlitz [Dvukhetazhnie passazhirskie vagony iz Gerlitsa]. *Zheleznic*

dorogi mira, 2008, Iss. 6, pp. 37–43. [Electronic resource]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2008-06_37-43.pdf. Last accessed 24.08.2023.

3. Chevalkov, N. P. Alstom regional multiple unit train program [*Programma regionalnykh motorvagonnykh poezdov kompanii Alstom*]. *Zheleznice dorogi mira*, 2008, Iss. 12, pp. 26–33. [Electronic resource]: https://zdmira.com/images/pdf/_dm2008-12_26-33.pdf. Last accessed 24.08.2023.

4. Kuznetsov, A. V., Filipchenko, S. A., Baskin, R. V., Kurenkov, P. V. Interaction between Russian Railways and rolling stock owners [*Vzaimodeistvie OAO RZD i sobstvennikov povizhnogo sostava*]. *Ekonomika zheleznnykh dorog*, 2010, Iss. 6, P. 50. EDN: MWLBGR.

5. Pisarevskiy, G. E., Glibin, A. V., Kulik, N. F. Cost assessment of the main indicators of the use of rolling stock of JSC Russian Railways [*Stoimostnaya otsenka osnovnykh pokazatelei ispolzovaniya podvizhnogo sostava OAO RZD*]. *Bulletin of transport information*, 2008, Iss. 3 (153), pp. 27–29. EDN: NCXVSH.

6. Paveliev, V. V. Model of complex assessment and selection of parameters of promising Russian Railways rolling stock [*Model kompleksnogo otsenivaniya i vybora parametrov perspektivnogo podvizhnogo sostava RZD*]. V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences. Under the gen. editorship of S. N. Vasilyev, A. D. Tsvirkun. Vol. 1. Moscow, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, 2013, pp. 374–379. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/download/elibrary_22401763_98620889.pdf [text of the entire volume]. Last accessed 24.08.2023.

7. Vydashenko, L. A. Measures to regulate own rolling stock on the infrastructure of JSC Russian Railways [*Mery regulirovaniya sobstvennogo podvizhnogo sostava na infrastructure OAO RZD*]. *Postulat*, 2018, Iss. 4–1 (30), 8 p. [Electronic resource]: <https://www.e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/view/1328/1359>. Last accessed 24.08.2023.

8. Demyanov, A. A., Demyanov, A. A. Increasing the economic efficiency of operating rolling stock and rail tracks of JSC Russian Railways [*Povyshenie ekonomicheskoi effektivnosti ekspluatatsii podvizhnogo sostava i relsovykh putei OAO RZD*]. In: Proceedings of IV International scientific-practical conference, 05–07 September 2012. Rostov-on-Don, DSTU publ., 2012, 361 p., pp. 55–57. ISBN 978-5-7890-0712-9. EDN: XATRQT.

9. Chechenova, L. M., Sivertseva, E. S. Features of updating the main components of railway transport infrastructure [*Osobennosti obnovleniya osnovnykh komponentov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta*]. *Voprosy novoi ekonomiki*, 2022, Iss. 2 (62), pp. 30–37. EDN: NQGBFT.

10. Chernyshevskaya, Yu. A. New coaches for passengers [*Novie vagony passazhiram*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2022, Iss. 5, p. 51. EDN: BKJHJU.

11. Komarova, T. O., Kuznetsova, A. A. Innovative approaches to digitalisation for monitoring the life cycle of rolling stock [*Innovatsionnye podkhody k tsifrovizatsii po otslezhivaniyu zhiznennogo tsikla podvizhnogo sostava*]. Collection of scientific articles of the 8th All-Russian National Scientific and Practical Conference. In 4 volumes. Edited by V. M. Kuzmina. Volume 3. Kursk, Southwestern State University, 2023, pp. 258–261. EDN: LZMIXU. ●

Information about the authors:

Rakhaev, Vladislav A., Ph.D. student at Russian University of Transport, Moscow, Russia, v.rakhaev@gmail.com.
Kuzina, Elena L., D.Sc. (Economics), Professor, Associate Professor at the Department of Quality Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, kyzina2008@yandex.ru.
Vasilenko, Marina A., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Economic and Social Theory of Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia, margo2026@yandex.ru.

Article received 22.08.2022, revised 07.09.2023, approved 27.11.2023, accepted 28.11.2023.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-9>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 236–240

Unification of Passenger Trains when Organising Irregular Railway Transportation



Olga N. PANOVA



Sergey P. VAKULENKO



Pavel A. EGOROV

Olga N. Panova¹, Sergey P. Vakulenko², Pavel A. Egorov³¹LLC Grandproject, Moscow, Russia.^{1, 2, 3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.✉ ² post-iuit@bk.ru.

ABSTRACT

Passenger transportation by rail can be divided into regular (travelling with labour or recreational purposes, weekend trips), and irregular (tourist, rotational, migration and others). The organisation of regular transportation is based on medium- and long-term planning of number of transported passengers, which is not applicable to irregular transportation.

Determining the optimal layout of a passenger train, the number of main types of sleeping cars (with compartments and reserved seats without compartments) is one of the key tasks in organising railway passenger transportation, including irregular one.

One of the promising improvements in development of long-distance railway passenger transportation is unification of passenger trains, which makes it possible to organise a comprehensive rotation of trains, thereby reducing non-operational downtime and increasing the efficiency of using rolling stock.

Keywords: irregular railway passenger transportation, passenger train compositions, remaining free seats on passenger trains, unification of passenger train compositions.

Studies to assess the optimal composition of a long-distance train were carried out for regular railway transportation. However, considering several features of irregular passenger transportation, such as short-term planning of the volumes, high differentiation in the number of groups of passengers, a possibility of using free seats on trains on existing routes, it is necessary to re-evaluate the effectiveness of using unified passenger train composition schemes under these conditions.

The development of standard compositions of passenger trains is carried out using the cluster analysis method. The use of three unified compositions is proposed. When developing proposals for unifying the layouts of passenger trains in circulation, it is necessary to consider the additional passenger traffic in irregular transportation, which cannot be absorbed using the remaining free seats. The results of the study were applied to a fragment of the North-Eastern part of railway network.

For citation: Panova, O. N., Vakulenko, S. P., Egorov, P. A. Unification of Passenger Trains when Organising Irregular Railway Transportation. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 236–240. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-9>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Irregular railway passenger transportation is an important component of overall passenger traffic.

Research in the field of improving passenger transportation usually considers the development of an optimal plan for formation of passenger trains, using various optimality criteria and constraints.

For example, several studies have developed theoretical and methodological foundations for choosing the optimal plan for formation of long-distance passenger trains to increase profitability of passenger transportation, while increasing the degree of meeting passenger demand for travel in different types of coaches [1, 2]. The research [3] is devoted to a method intended to optimise the circulation pattern of long-distance passenger trains at a segment of railway network, based on the most convenient time for passengers to depart and arrive at the station. Research described in [4–6] is devoted to development of scientific and methodological foundations for a system for mastering the flow of passengers, luggage and cargo luggage on the railway network while ensuring transportation of passenger flows without changing trains at a given level and meeting the demand for seats in cars of different types. Methods described in [4–6] are applicable both for models for calculating formation plans with fixed train layouts, and for determining train layouts. The works [7; 8] developed scientific and methodological foundations for assessing the effectiveness of organising rapid passenger railway transportation in long-distance traffic.

However, the methods based on reliable forecasting and planning can hardly be used for irregular transportation. Modern methods for planning passenger transportation by rail need to be optimised and redeveloped for possible use in planning irregular railway passenger transportation [9].

One of the least developed issues to date remains the assessment of the effectiveness of organising irregular passenger transportation regarding implementing unified schemes for long-distance passenger trains. The use of unified schemes of long-distance passenger trains for various routes will allow them to be integrated into a single rotation scheme within each group, as well as to unify the processing passenger trains at the points of their formation and at origin stations. The study [10] pointed to an increase in the operating efficiency of passenger companies

by reducing the number of passenger trains in circulation, which can be achieved by unifying their schemes. This approach will make it possible to reduce the required number of passenger trains, free up tracks where trains are assembled or stay, and distribute the types of services provided along the route by train type. The possibility of unifying passenger train layouts can be considered using clustering algorithms.

The *objective* of the study was to develop approaches to revealing optimal train composition when implementing unified layouts of long-range passenger trains involved in irregular passenger transportation.

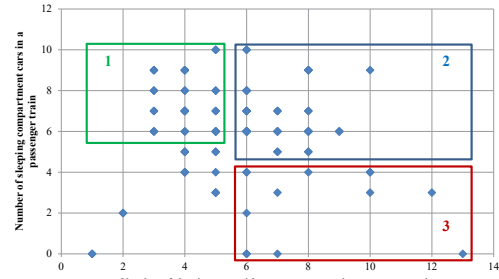
RESULTS

It is extremely difficult to visually show the dependence of the number of different types of cars in a passenger train relative to each other, therefore, as an example, let's consider the dependence of the number of compartment sleeping cars in a train on the number of sleeping cars without compartments but with reserved couchettes, these types of cars making up the bulk of the total number of passenger cars in a train.

When considering the North-Eastern railway segment of railway network in [11], a number of patterns were identified in the structure of passenger traffic, and the necessary measures were identified to change the composition of long-distance passenger trains on the chosen route.

To improve the efficiency of long-distance passenger transportation, it is also necessary to evaluate the impact of unification of train sets on development of additional passenger traffic when organising irregular railway transportation.

To determine the number and composition of passenger trains on a given route, it is necessary to obtain the following initial data:



Pic. 1. Dependence of the number of sleeping compartment cars in a layout of a train on the number of sleeping cars without compartments.



Table 1

Fragment of a sample of the number of remaining free seats in trains per destination points

№ of a direct train	Number of days of circulation per month	Number of seats		Number of cars in a trains				Required number of seats		Total excess/ shortage of seats	
		Compartment sleeping cars	Sleeping cars without compartments	De Luxe sleeping car	Compartment sleeping cars	Sleeping cars without compartments	Sitting cars	Compartment sleeping cars	Sleeping cars without compartments	Compartment sleeping cars	Sleeping cars without compartments
Origin-destination route fragment A1											
42	4	453	324	1	10	5	0	454	819	302	-20
376	4	302	475	0	7	6	1				
Origin-destination route fragment A2											
312		456	1204	0	6	7	0	173	445	1579	2946
310	15	1296	2187	0	8	9	0				
...											
Origin-destination route fragment A5											
no	4	0	0					42	57	-42	-57
...											
Origin-destination route fragment A7											
no	4	0	0					75	144	-75	-144

- «Monthly origin-destination pattern of passenger flows during the month of maximum traffic.

- Number of free seats in regular passenger trains.

- Composition of regular passenger trains.

- Infrastructure constraints (section transit capacity, length of passenger platforms, etc.)» [12], determined using the methodology¹.

The number of free seats in trains per their destination is shown in Table 1. To assess the possibility of organising transportation of passengers without increasing the number of trains and number of cars in them, we assume that there is a certain number of free seats. Based on the results of calculations, «origin-destination passenger flows A1 (K) and A2 can be organised through the use of free seats» [11].

In previous studies [13, 14], the «laws of distribution of technical and technological parameters of irregular railway passenger transportation» were assessed, based on this assessment the composition of trains of the direction under consideration was determined. The distribution of cars in a train can be expressed by the dependence of the number of sleeping compartment cars and sleeping cars without compartments, shown in Pic. 1.

¹ Methodology for determining the throughput and carrying capacity of public railway transport infrastructure. Approved by order of the Ministry of Transport of Russia dated July 18, 2018, No. 266. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/542629643?ysclid=lq2gcsb059594241>. Last accessed 24.07.2023.

The shown distribution should be divided into four clusters, which are further referred to as classes:

- «First» with a large number of sleeping compartment cars.

- «Second», which includes most common train layouts with approximately the same number of sleeping cars with and without compartments.

- «Third» with a larger number of sleeping cars without compartments.

- «Fourth» with a large number of cars for seating (not shown in Pic. 1).

To solve the clustering problem, we consider the K-means method preferable, since when comparing the advantages and disadvantages of the considered methods, the disadvantages of the K-means method are levelled out by the method of its application.

Table 2 presents the results of calculating unified layouts of passenger trains for four classes.

Based on the analysis, unified layouts of long-distance passenger trains were obtained for organisation of irregular transportation on the North-Eastern segment of railway network [11], and all the passenger trains under consideration were linked to unified layouts (see Table 3).

Data from the analysis and calculations of the results obtained showed that the first class of unified layouts includes most branded passenger trains, the second and third – rapid and long-distance trains, and the fourth –

Table 2

Unified layouts of passenger trains

Class	De luxe sleeping car	Sleeping compartment car	Sleeping car without compartments	Sitting car	Sum
«first»	1	10	3	0	14
«second»	0	8	7	0	16
«third»	0	4	7	1	12

Table 3

Fragment of a sample of passenger trains

№ of a train	Existing train layout				Capacity	Class of a unified layout
	De luxe sleeping	Sleeping compartment car	Sleeping car without compartments	Sitting car		
№ 89/90	0	8	11	1	954	2
№ 309/310	0	8	9	0	774	2
№ 311/312	0	8	6	0	612	1
№ 375/376	0	7	6	1	648	2
№ 565/566	0	4	11	0	738	3
№ 593/594	0	1	10	0	576	3

daytime passenger trains, i. e., the train layouts by train type are approximately similar to each other. To reduce the number of types of passenger trains, it is proposed to move to only one classification according to the classes of unified layouts, then the class of the train will determine not only its layout, but also its type.

Within the framework of unified layouts, it may be necessary to increase the number of cars in passenger trains No. 309/310, 311/312,

375/376 by a total of three «sleeping compartment» cars and three «sleeping cars without compartments». When using unified train layouts for these passenger trains, there will be an excess of de-luxe sleeping cars and sleeping compartment class cars and a shortage of sitting class cars (Table 4).

The network-wide model for regular passenger transportation requires adjustments for individual directions for irregular passenger transportation due to the shortage of sleeping

Table 4

Composition of passenger trains when their layouts are unified

№ of a train	Number of cars in a train by classes											
	De-luxe sleeping cars			Sleeping compartment cars			Sleeping cars without compartments			Sitting cars		
	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-
309/310	0	0	0	7	8	1	6	7	1	0	0	0
311/312	0	1	1	8	10	2	6	3	-3	0	0	0
375/376	0	0	0	6	8	2	6	7	1	1	0	-1
Total			1			5			-1			-1

Table 5

Changes in composition of trains when unifying layouts

№ of a train	Number of cars in a train by classes											
	De-luxe sleeping			2-class sleeping compartment			3-class open sleeping			Sitting		
	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-	act.	unif.	+/-
309/310	0	0	0	7	8	1	6	7	1	0	0	0
311/312	0	0	0	8	8	0	6	7	1	0	0	0
375/376	0	0	0	6	8	2	6	7	1	1	0	-1
Total			0			3			3			-1



compartment cars and sleeping cars without compartments.

Considering the proposed economic distribution model, train 311/312 should be assigned a unified «second» class scheme, then the change in the composition of passenger trains will take the form shown in Table 5.

BRIEF CONCLUSIONS

Despite the increase in the number of cars in trains for individual passenger trains, when using unified schemes throughout the entire railway network, downtime at stations where trains are assembled or awaiting to return to origin point could be reduced more significantly compared with the route service is organised with equal number of trains going respectively to and from origin-destination points on the route.

The number of passenger trains in circulation should be used as the main indicator of the effectiveness of implementation of the methodology for unifying passenger train layouts, this indicator finally determines the need for a car fleet.

REFERENCES

1. Pazoisky, Yu. O., Glazkov, D. V. Mathematical model for optimising long-distance passenger transportation [Matematicheskaya model optimizatsii passazhirskikh perevozok v dalnem soobshchenii]. *Vestnik VNIIZhT*, 2004, Iss. 2, pp. 46–47.
2. Pazoisky, Yu. O., Glazkov, D. V. Mathematical model for establishing the passenger demand function for long-distance transportation [Matematicheskaya model ustanovleniya funktsii sprosa passazhirov na perevozki v dalnem soobshchenii]. *Vestnik VNIIZhT*, 2004, Iss. 6, pp. 46–47.
3. Shmal, V. N. Optimisation of circulation schemes for passenger trains [Optimizatsiya skhem obrashcheniya passazhirskikh poezdov]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2010, Iss. 6, P. 61. EDN: OYYPJD.
4. Pazoisky, Yu. O., Saveliev, M. Yu., Milkov, A. Yu. Unification of long-distance passenger train layouts [Unifikatsiya skhem sostavov passazhirskikh poezdov Dalnego soobshcheniya]. *Transport: science, technology, management. Scientific information collection*, 2015, Iss. 5, pp. 7–13. EDN: TRRUUL.
5. Pazoisky, Yu. O., Saveliev, M. Yu., Milkov, A. Yu. Linking passenger trains of different destinations into a single circulation scheme [Uvyazka sostavov passazhirskikh poezdov raznykh naznacheni v obshchiy oborot]. *Transport: science,*

technology, management. Scientific information collection, 2015, Iss. 9, pp. 7–14. EDN: UIILSED.

6. Pazoisky, Yu. O., Saveliev, M. Yu., Baturin, A. P. Maximising the number of long-distance passenger trains during the period of growth of passenger flows due to the intensification of the use of trains [Maksimizatsiya chisla passazhirskikh poezdov Dalnego sledovaniya v period rosta passazhiropotoka sa schet intensifikatsii ispolzovaniya sostavov poezdov]. *Competitiveness in the global world: economics, science, technology*, 2016, Iss. 9–1 (23), pp. 166–171. EDN: XIKKET.

7. Sidrakov, A. A. Optimum for competition. *World of Transport and Transportation*, 2008, Vol. 6, Iss. 3 (23), pp. 94–98. EDN: KDSYTZ.

8. Sidrakov, A. A. Rapid passenger traffic and fare level. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol. 10, Iss. 1 (39), pp. 106–109. EDN: OWZJBN.

9. Ilyagiev, S. P., Sidrakov, A. A. Problems and prospects for development of railway tourist transportation [Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnykh turisticheskikh perevozok]. In: Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov – the founder of transport science: works of international scientific and practical science conference dedicated to the 125th anniversary of the university, Moscow, October 22, 2021. Moscow, Russian University of Transport, 2021, pp. 165–168. EDN: PXYDFS.

10. Pazoisky, Yu. O., Saveliev, M. Yu., Sidrakov, A. A., Sharov, V. A. Algorithm for optimising the number of passenger trains in circulation, taking into account possible changes in the time of departure and arrival of trains at terminal stations [Algorit optimizatsii chisla sostavov passazhirskikh poezdov v oborote s uchetom vozmozhnogo izmeneniya vremeni otpravleniya i pribytiya poezdov na konechnie stantsii]. *Competitiveness in the global world: economics, science, technology*, 2017, Iss. 3–5 (36), pp. 112–116. EDN: YJLSQB.

11. Vakulenko, S. P., Ilyagiev, S. P., Sidrakov, A. A. Organisation of irregular railway transportation [Organizatsiya neregulyarnykh zheleznodorozhnykh perevozok]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2021, Iss. 6, pp. 79–87. EDN: SERZCT.

12. Pazoisky, Yu. O., Saveliev, M. Yu., Sidrakov, A. A. [et al]. Railway passenger transportation (selected chapters): Study guide [Zheleznodorozhnie passazhirskie perevozki (izbrannie glavy): Ucheb. posobie]. Ed. by D.Sc. (Eng), prof. Yu. O. Pazoisky. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2020, 407 p. EDN: QXRJJV.

13. Ilyagiev, S. P. Estimation of the law of distribution of the number of cars in trains during irregular railway passenger transportation [Otsenka zakona raspredeleniya chiska vagonov v sostave poezdov pri neregulyarnykh zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozkakh]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*, 2022, Iss. 52, pp. 448–451. EDN: HCCEGB.

14. Ilyagiev, S. P. Analysis of irregular passenger transportation by rail [Analiz neregulyarnykh passazhirskikh perevozok na zheleznodorozhnom transporte]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2021, Iss. 7, pp. 68–74. EDN: DGZXFY.

Information about the authors:

Panova, Olga N., Ph.D. (Eng), General Director of LLC Grandproject, Associate Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, post-iiut@bk.ru.

Vakulenko, Sergey P., Ph.D. (Eng), Professor, Director of the Institute of Management and Digital Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, post-iiut@bk.ru.

Egorov, Pavel A., Deputy Director of the Institute of Management and Digital Technologies of Russian University of Transport, Moscow, Russia, post-iiut@bk.ru.

Article received 14.11.2022, approved 14.04.2023, accepted 21.07.2023.



Development of a Method for Assessing the Quality of Public Transport Services within Urban Transportation Planning Systems



Sergey A. Andreev

International Coordinating Council for Trans-Eurasian Transportation; JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport, Moscow, Russia.

✉ andreevsa@niiat.ru.

Sergey A. ANDREEV

ABSTRACT

This article discusses the issues of assessing the perceived quality of services provided by ground urban passenger transport. The implementation of a marketing approach to development of transport services means the need to consider the opinion of a potential consumer regarding a planned or completed trip. Integrating the perceived quality of transport services into development and implementation of urban transport policy will allow us to shape more effectively sustainable transport behaviour,

focusing on taking measures that give the greatest return, maintaining the loyalty of existing passengers and attracting new ones.

Based on the focus of the transport service on the final consumer, the article analyses methods for assessing quality indicators for the transport chain. The issues of using a gravity model to assess the quality of a multimodal transport chain are considered with the account for the point of view of an individual passenger and user groups.

Keywords: urban transport systems, passenger transport, quality of transport services, perceived quality, Avoid–Shift–Improve strategy.

For citation: Andreev, S. A. Development of a Method for Assessing the Quality of Public Transport Services within Urban Transportation Planning Systems. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 241–249. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-10>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Urban passenger transport, being an integral part of the city's life support system, is subject to a wide range of external influences that affect transport demand. Hence, the growing importance of mutually interconnected goals and capabilities of city transport administrations, the capacity of transport companies and the expectations of the population from the provided transport service allowing to reduce the excessive number of trips by personal vehicles.

This interconnection is implemented within the framework of a marketing approach to management of public urban passenger transport. This approach is based on the provisions of the Avoid-Shift-Improve strategy [1], which is the basis for developing a set of measures to create sustainable urban transport systems, including by changing the transport behaviour of the population and switching passenger traffic from personal to public transport.

The system of transport planning and provision of transport services that is being built should be based on consideration of various aspects of assessing the quality of transport services to the population: the provided quality of transport services (i. e., the level of quality provided by service providers), target quality (i. e., quality standards established by regulators), perceived quality (i. e., quality subjectively perceived by customers) and, finally, desired quality (i. e., characteristics of the expectations and desires of potential and actual passengers).

Accepting the statement that the passenger, as a decision maker, is rational and, accordingly, from the entire set of alternative modes of transportation and travel routes, he will choose the best one for himself, implies the need for a formal description of such a decision-making process, and that is the *objective* of the study. At the same time, the subjectivity of each of the individual assessments determines the advisability of formalising indicators of perceived quality [2–6].

RESULTS

Indicators of the Quality of Transport Services in Urban Transport Policy

Assessing the quality of transport services for the population can be used both for the purposes that city transport administrations face (planning the prospects for development of urban transport systems, developing transport planning documents, monitoring the work of urban

transport, etc.), and for the purposes pursued by transport enterprises while preparing proposals on organising new routes and changing the parameters of existing ones.

Accordingly, there is a need to develop a mechanism for assessing the quality perceived by the user and integrate it into the processes of planning, providing and controlling of the provision of transport services.

Table 1 presents an analysis of the structure of quality indicators of transport services based on methods used in Russia, the EU, China, and the USA.

The results of the analysis indicate that there is currently no harmonised nomenclature of quality indicators used.

There is no doubt that transportation managing organisations, carriers and the population evaluate the quality of transport services based on the different goals they face. E.g., in Russia, the standard for quality of transport services for the population is established by the city (regional) administration for carriers operating on certain routes. At the same time, a particular user is more interested in the quality of service not on a separate route or within the transport system as a whole, but on his own travel route («transport chain»), which may include sections of various routes, several types of urban passenger transport, movement using active mobility or personal mobility vehicles, as well as transfers, the quality of which must also be taken into account. In this regard, to obtain a more complete picture related to passenger service quality indicators, it is necessary to ensure that issues of transport service quality are considered in a broader context, as shown in Pic. 1.

In addition, different categories of users and in different circumstances perceive the quality indicators of the service provided differently. As a rule, to assess quality, a principle is applied according to which focus groups of potential passengers are determined (employed in the economy, students, pensioners, etc.). For each of these groups, the points of formation and absorption of transport demand and its characteristics are determined (requirements for quality, price, availability, etc., time characteristics of demand distribution for each group). Based on the results of such decomposition and subsequent aggregation, the requirements for the route network and service on it are determined.

However, if administrations and operators do not consider users' requirements for the quality

Table 1

Quality indicator	Meter	EU*	Russia**	China***	USA****
Availability	frequency and reliability of service	+	+		+
	working hours	+	+		+
	ease of boarding and disembarking	+			+
	route network coverage	+			+
	affordability	+	+	+	+
Information support	distance from/to the end and start points of the route				
	at stopping points	+	+		+
	online	+	+		
	schedule, routes	+		+	+
	waiting time, delays	+			+
Time	timely notification of changes				+
	en route	+		+	+
	at the stop/approaching it/during a transfer	+		+	
	on-time trips	+	+	+	+
	relativity to other modes of transportation				
Comfort	temperature, ventilation/air conditioning in the cabin, absence of odours and vibrations	+	+	+	+
	cabin occupancy / ability to occupy a seat	+	+	+	+
	appearance of the vehicle (cleanliness, paint, absence of extraneous inscriptions)	+			+
	suitability for travel in special cases (with luggage, stroller, bicycle/PMV)	+	+		
Service for clients	service culture	+	+		+
	responsiveness of the staff	+			+
	availability of feedback	+			+
	possibility of improving the service through feedback				+
Safety/Security	at stopping points	+		+	+
	on the way to stopping points				
	on the move for vehicles	+		+	+
	on the move for a passenger	+		+	
	inside the vehicle (illegal actions)	+		+	+
Environmental impact	environmental friendliness of the service in general	+	+		
	reduction of congestion	+			
	reduction in emissions	+			

* Based on EU standard EN 13816:2002. Transportation – Logistics and services – Public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement.

** Based on the Social Standard of Transport Services for the Population when Transporting Passengers and Baggage by Road and Urban Ground Electric Transport (approved by the Order of the Ministry of Transport of Russian Federation dated January 31, 2017, No. NA-19-r, as amended on March 10, 2021.

*** Based on the methodology for assessing the perceived quality of bus transport services for Beijing (PRC), set out in the work of J. Wen [et al] [9].

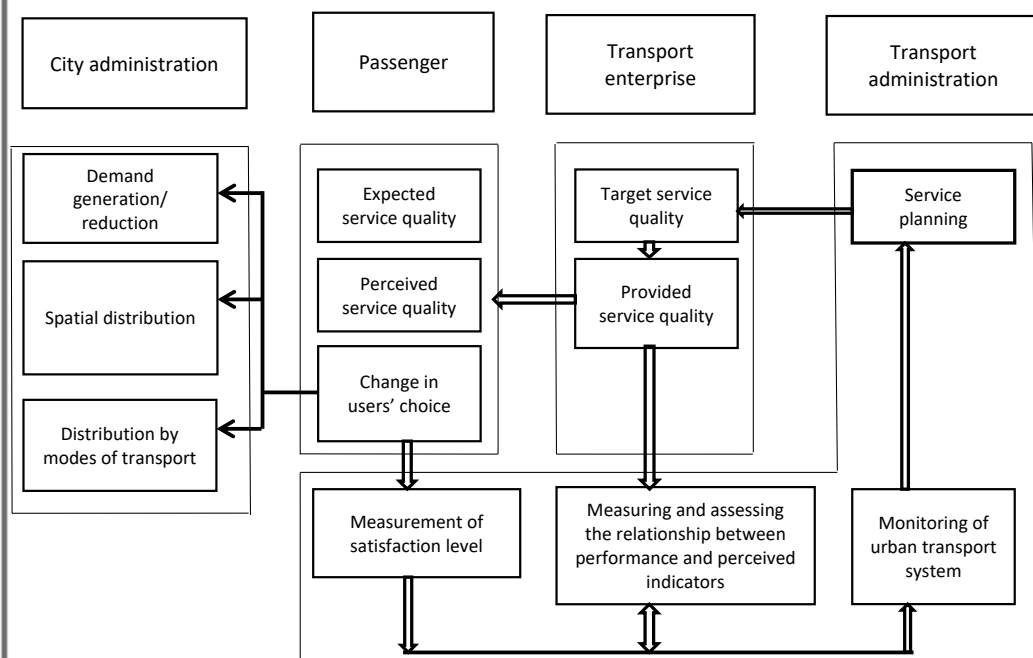
**** Based on determinants set in the USA by Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality [Electronic resource]: <https://www.trb.org/Publications/Blurbs/153801.aspx>.

of services provided, this may result in the fact that sustainable transport behaviour of the population will not be formed. Even though the transport service will be accepted by users in its current version, with an increase in the well-being of the population or with an improvement of other conditions associated with social differentiation, society may abandon public urban

transport services in favour of the use of passenger vehicles (private car, taxi, car sharing, etc.). This trend in the future will negatively affect a wide range of problems related to traffic and the environment [7].

An integrated approach aimed at including perceived indicators of the quality of transport services in the design of urban passenger





Pic. 1. A scheme for planning, providing, and monitoring the quality of transport services based on a «quality loop» taking into account feedback [developed by the author].

transport systems and monitoring the provision of these services involves identifying the following subtasks:

- Determining the list of indicators of quality of transport services to be assessed, their internal hierarchy and target indicators.
- Determining the principles for assessing quality indicators (using industry performance indicators, obtaining quantitative indicators through surveys, the «secret shopper» method, etc.).
- Determining the entire group of transport service users and its decomposition (according to age, social criteria, goals, and circumstances of the trip).
- Revealing relationships between quality indicators, considering the degree of their perception by each user group.
- Development of a mathematical apparatus used to assess the quality of transport services for each category of users.

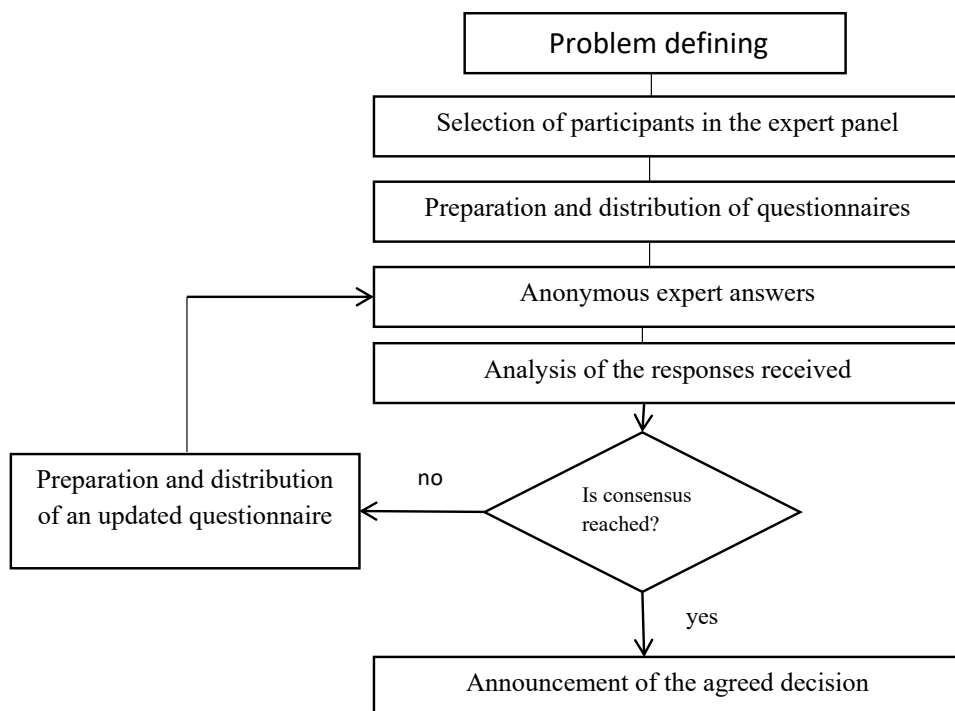
It is important to assume that with growing prosperity, consumers are constantly raising their quality expectations in all areas, including the transport services market. Therefore, the market for transport services is a dynamic system: it is continuously influenced by public, economic and social developments, as well as by sectoral measures directly undertaken in the transport industry.

Shifts in the level of well-being (both of society and of an individual), and the demographic characteristics of society change the perception of the quality of transport services. Sudden changes due to changes in the route network, schedules, tariffs, etc., as a rule, are perceived with caution by users, unless they lead to an equally dramatic increase in the quality of service.

In this regard, several recommendations are used that establish the framework for future changes in transport services (for example, reforms are not recommended to affect more than 15–20 % of the route network)¹.

To a large extent, all calculations necessary to assess the quality of the services provided by ground urban passenger transport are now made for monomodal routes, and the influence of the characteristics of a particular type of transport on the choice of consumers still appears to be insufficiently studied. It can, however, be assumed that the user's choice of a multimodal route based on the integral quality of transport services provided by it can also be formalised using the following indicators: vehicle availability, travel time, level of service, comfort, visual acceptability, safety at the stop and en

¹ Guidelines for drawing up rational schemes of bus routes in cities. Moscow, NIAT of the Ministry of Automobile Transport of the RSFSR, 1984.



Pic. 2. Scheme of using the Delphi method [developed by the author].

route, environmental friendliness, personal preferences, number of transfers, their reliability and convenience.

Methods for Assessing the Quality of Transport Services

User surveys can be used to obtain data on the provided and perceived quality of transport services, although this method of obtaining data can produce rather subjective results and, in addition, requires the formulation of questions for respondents that are understandable to them. The indicators used in these questions should not be exclusively general (for example, «availability» or «reliability»), since in this case they can be interpreted differently by the passenger answering the questions, and on the other hand, they should be easily quantifiable.

Methods for expert assessment of quality indicators involve the use of coefficients of their relative importance (weight of criteria) or absolute significance (score). Such methods are used both to compare quality indicators of transport services before and after the adoption of appropriate regulatory measures, and to assess the dynamics of changes in the integral quality indicator [8; 9].

At the same time, when constructing integral quality indicators, it is important to create a set

of component indicators that ensure full coverage of the user's needs. If they are multidirectional, the corresponding correction factors are introduced into the formula for calculating the integral quality indicator.

Algorithms for evaluating transport projects and programs using complex (composite) criteria are outlined, e. g., in the textbook². When analysing the opinions of a limited number of qualified experts surveyed, for example, the Delphi method (Pic. 2) or the method of paired comparisons can be used. In both cases, appropriate attention should be paid to the issue of interviewee selection to form a representative sample.

An important indicator of the quality of a trip is its *duration (time)*. However, this indicator is multicomponent in nature, each element of which is perceived differently by a passenger [10–12]. Therefore, those quality indicators that use a time basis must consider the passenger's subjective perception of the time spent at different stages of the trip: at the stop while waiting for the vehicle, on the approaches to it, during a direct trip or trip with a transfer, transfer time and

² Donchenko, V. V. Sustainable urban transport systems: changing the paradigm of planning and development of urban transport: Textbook [Ustoichivie gorodskie transportnie sistemy: izmenenie paradig planirovaniya i razvitiya gorodskogo transporta: Uchebnik]. Moscow, Radar publ., 2023, 402 p. ISBN-978-5-6048/401-2-2.



waiting for a vehicle to continue the route. At the same time, the values of quality indicators associated with the perception of waiting may have a nonlinear relationship with waiting time.

This applies, in particular, to the transport chain, where the acceptability of a transfer for a passenger may depend not only on external factors (comfort and equipment at transfer points, weather conditions, walking distance during transfer), but also on the total duration of the trip, that is, on the share of the journey spent by a passenger in the cabin of the same vehicle.

Different user perceptions of the time spent at individual stages of the transport process: walking towards/departing from a stop, being in transport (within an interval not exceeding the transport fatigue indicator) result in the phenomenon that waiting time and transfer time are assessed twice as negatively, than the time spent inside the vehicle [13].

One of the main indicators of the quality of transport services is their *availability*. The need to evaluate it in terms of perceived quality is associated with the user's choice, when planning a trip, of the best route to arrive at the destination and the transport chain corresponding to this route. A potential passenger evaluates the availability of locations, modes of transport and individual routes based on his or her physical and financial capabilities, available time, time and weather conditions, etc.

The [14] proposes to use a gravitational model to assess the accessibility of locations for the user. According to this model a certain weight corresponds to a particular transport chain:

$$A_i = \sum_j P_i \cdot f(C_{ij}), \quad (1)$$

where A_i – availability of the i -th zone;

P_i – possibilities of arriving at destination from the i -th zone;

i – departure zone indicator;

j – destination zone index;

$f(C_{ij})$ – function that determines the cost of a trip.

In this case, it is assumed that cost is the factor that determines the level of accessibility.

However, based on the complex concept of accessibility, other factors also influence it. To take them into account, the concept of impedance of travel is introduced, that is, the ease/difficulty of travelling from i to j .

In its classical form, the function $f(d_{ij})$ of impedance of travel assumes a dependence only

on the distance between two points, but it can also be used to consider a wider range of factors affecting accessibility.

From the point of view of this approach, locations have more weight the closer they are to the target point (i. e., they are more likely to be selected by the user):

$$P_j^{ip} = \frac{x_j^p f(d_{ij})}{\sum_{j \in L^{ip}} x_j^p f(d_{ij})}, \quad (2)$$

where L^{ip} – a set of locations of the type p in the set of selection for the zone i ;

x_j^p – a size of type p activity (number/power of points of production activity, as well as other points of attraction of passenger flow) in the location j .

The concept of «proximity» in this case can be extended to cost and time indicators, to the level of comfort provided, etc.

According to the model described by formula (2), the probability of choosing location j will continuously decrease with increasing distance/time required to reach the target destination. It should also be considered that this probability is not the same for different categories of passengers and purposes of the trip.

The above allows us to use the gravity model to assess the quality indicators of the transport chain (door-to-door) using perceived quality. In this case, the transport service quality function $f(q_{ij})$, which depends on the perceived quality of links in transport chains, is included in the impedance function.

In this case, it is assumed that the user selects a transport chain with the maximum integral quality indicator Q_{choice} :

$$Q_{choice} = \max Q_i (i \in 1..n), \quad (3)$$

where n – the number of possible transport chains from the start to the end point of one's trip with quality Q_i , considered by an individual (potential passenger).

In turn, each chain consists of a sum of links, each of which is characterised by its own quality:

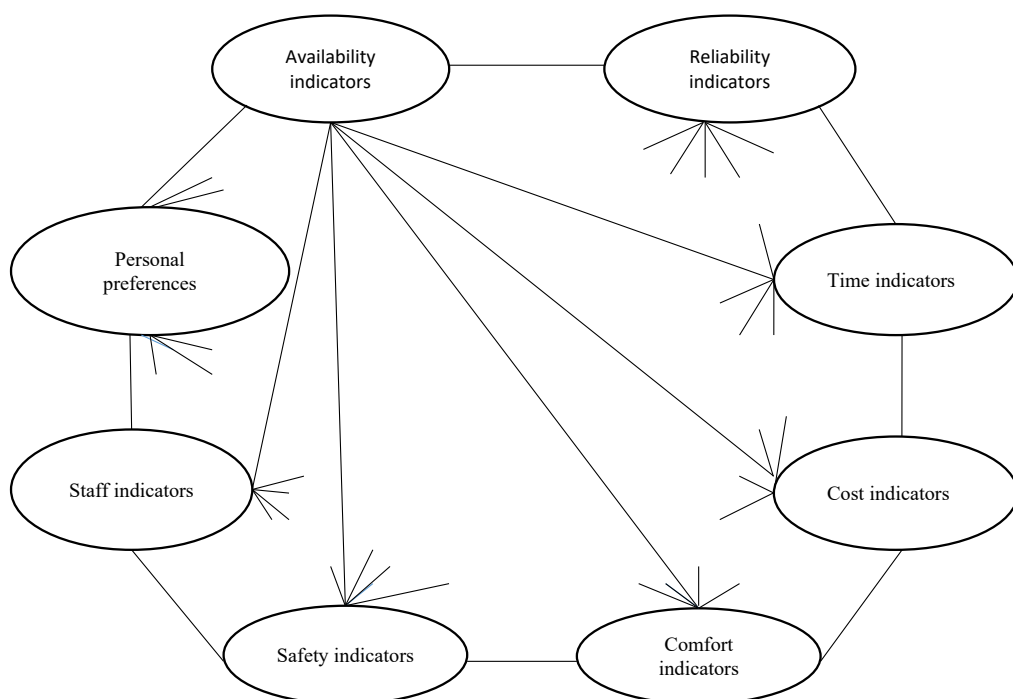
$$Q_i = \sum_{j=1}^m q_j, \quad (4)$$

where q_j – the quality of the individual j -th link of the transport chain, and m is the number of its links.

In the simplest case

$$Q_i = \sum_{j=1}^m q_j = \sum_{j=1}^m \sum_{k \in K} q_{jk} \cdot p_k, \quad (5),$$

where q_{jk} – the quality indicator of the transport service of the j -th link according to the k criterion;



Pic. 3. General case of mutual overlap of indicators of perceived quality of transport services [developed by the author].

p_k is the weighting coefficient of the k -th criterion of the quality of the transport service belonging to the set K .

At the same time, the physical distance within the corresponding chain may be shorter, but this distance may be inferior in quality (have a high impedance) and, accordingly, be rejected when a potential passenger makes his decision.

In fact, the assessment of the quality of the trip may vary depending on the time of its implementation, the category of the user, etc. Therefore, in less simplified cases, it is possible to use functions that characterise the dependence of the quality of transport services on the category of users, travel purposes, time of day, etc., as well as to group assessments and generate summary characteristics.

Due to the complex nature of the transport service, it is also necessary to consider the mutual influence of several quality indicators on each other. For example, the values of some indicators may be in antiphase with the values of others (an increase in speed as a result of a reduction in travel time can lead to a decrease in safety, etc.). At the same time, their mutual overlap leads to the fact that a negative perception of one of the indicators (cost,

transferability) can be compensated by an improvement in other indicators (time, comfort). Such relationships can form network models, where the vertices are the corresponding quality indicators (Pic. 3).

For a specific indicator (for example, transferability), the corresponding graph describing its relationship with other quality indicators is shown in Pic. 4. In this case, the weights of the edges characterising the significance of the relationship will have different weighting coefficients for different categories of users and trip categories. Accordingly, it is advisable to take this factor into account at the planning stage of transport services.

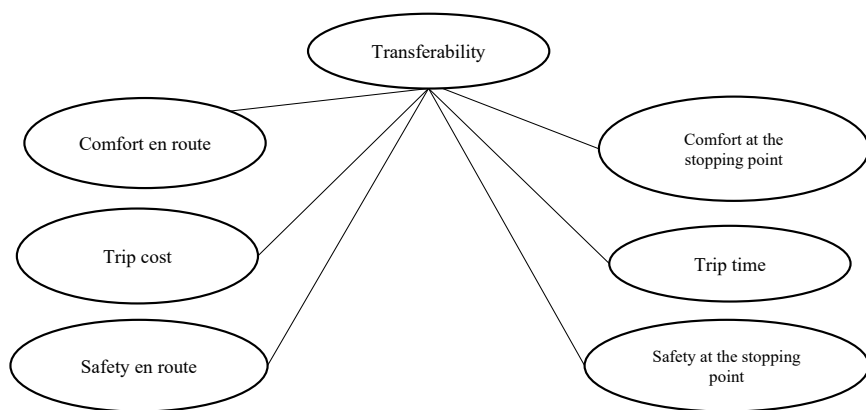
A dynamic physical model of perceived quality can be described by a change in the satisfaction index in a multidimensional space, each of the axes of which relates to a specific quality indicator:

$$S = \sum_{i=1}^k \frac{a_i \times x_i}{x_i}, \quad (6)$$

where S – satisfaction index;

a_i – satisfaction rating according to the attribute i ;

x_i – relative importance of the attribute i ,
 $i = 1, \dots, k$.



Pic. 4. An example of the mutual influence of indicators of the perceived quality of transport services [developed by the author].

Besides traditional methods, the solution to the problem of assessing perceived quality can be carried out using the apparatus of interval mathematics for each group of transport service users, followed by obtaining an integral assessment.

Let us note that the satisfaction index can be used as a value inversely proportional to the impedance of the trip, the function of which includes quality indicators.

Each of these indicators for a certain group of users is within the «tolerance zone», while going beyond the maximum value of the zone leads to the formation of «excess quality», that is, such quality, the increase of which does not lead to either increased satisfaction with the overall quality of the transport service, either to growth in the volume of its consumption (number of trips) [15–17].

Going beyond the lower limit of such a zone leads to a critical (negative) assessment of the transport service and creates a desire to abandon it, that is, provokes negative transport behaviour. Accordingly, due to deterioration of the cost-benefit ratio for the user, the accessibility of the trip target is reduced, which is an incentive to search for alternative ways to arrive at destination. A description of the relationship between transport behaviour and accessibility and usefulness for the user is presented in [18].

Thus, under the conditions of limited resources, the task is to maximise focus on those measures that affect the integral quality indicator, bringing its value closer to the point located as far as possible from the lower boundaries of these zones. Accordingly, the loyalty of the passenger as a user of urban

passenger transport services is ensured, both immediately and in the future.

At the level of an individual (potential passenger), the process can be described as follows. At the pre-transport stage, the user determines the existing constraints and acceptable compromises and formulates for himself criteria characterising the expected quality of the trip, which is a vector of ranges of quality indicators. The range of values of each of these criteria acceptable to the user represents the tolerance zone T_r .

As described in [19], in the decision-making process, alternatives that satisfy the requirements (constraints) are acceptable, and the alternative that reaches the extremum of the priority criterion or set of criteria becomes the optimal strategy and is implemented in the form of a trip.

CONCLUSIONS

It is advisable to integrate indicators of the quality of transport services into the processes of planning the development of urban transport systems and monitoring the implementation of transport work based on a methodology that considers the expectations and perceptions of the passenger. Focusing on those measures that seem to be a priority for the passenger counteracts the desire of the passenger to choose personal transport in search of a better transport service, reduces the load on the road network and helps reduce the harmful impact of transport on the environment.

To assess the perceived quality of a transport service, a gravity model can be used, according to which the user seeks to choose a transport chain that would have the least impedance of travel, that is, the highest quality indicators. The use of an integral indicator of the quality of

transport services, considering the impedance function, allows city and transport administrations to assess the level of user satisfaction and to focus on those activities to improve the city transport system (route network, mode of transport, type of rolling stock, tariff policy, etc.) which offer the greatest return.

REFERENCES

1. Mobilizing sustainable transport for development. Analysis and Policy Recommendations from the United Nations Secretary-General's High-Level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016. [Electronic resource]: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2375Mobilizing%20Sustainable%20Transport.pdf>. Last accessed 11.09.2023.
2. Asaliev, A. M., Zavyalova, N. B. [et al]. Marketing approach to quality management of transport services: Monograph [*Marketingoviy podkhod k upravleniyu kachestvom transportnogo obsluzhivaniya: Monografiya*]. Ed. by N. B. Zavyalova, O. V. Saginova, I. V. Spirina. Novosibirsk, CRNS publ., 2016, 172 p. ISBN 978-5-00068-521-1.
3. Baranova, G. N., Zaborovskaya, O. V. Consumer perception of the quality of passenger transport services: a literary review of foreign studies [*Vospriyatie kachestva uslug passazhirskogo transporta potrebitel'nyami: literaturniy obzor zarubezhnykh issledovaniy*]. *Russian Economic Internet Journal*, 2019, Iss.3, 10. EDN: IGFXHZ.
4. Seyfullaeva, M. E., Skorobogatykh, I. I., Sidorchuk, R. R., Grineva, O. O. Estimating the perceived quality of transport service: theoretical and practical approaches. *Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics*, 2018, Iss. 2 (98), pp. 122–134. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-122-134>.
5. Karelin, N. V. Formation of a marketing complex for urban passenger transportation based on an innovative approach. Ph.D. (Economics) thesis [*Formirovanie kompleksa marketinga gorodskikh passazhirskikh perevozok na osnove innovatsionnogo podkhoda*. Diss... kand. ekon. nauk]. Orenburg, OSU publ., 2020, 198 p. [Electronic resource]: <https://rsue.ru/avtoref/KarelinNV/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf?ysclid=lpie8kkcrr883340503>. Last accessed 21.07.2023.
6. Epifanov, V. V., Tyurin, A. S., Lukonkina, K. A. Quality management of passenger road transport based on customer satisfaction assessment [*Upravleniye kachestvom passazhirskimi avtomobilnymi perevozkami na osnove otsenki udovletvorennosti potrebitel'ei*]. *Kachestvo i zhizn*, 2018, Iss. 2 (18), pp. 88–92. EDN: XUBFID.
7. Donchenko, V. V., Baranov, A. S., Nemchinov, D. M., Polyakov, A. S. Urban planning and transport behaviour in the Russian Federation [*Gorodskoe planirovanie i transportnoe povedenie v Rossiiskoi Federatsii*]. Moscow, KnigIzdat publ., 2022, 240 p. ISBN 978-5-4492-0344-1.
8. Pečený, L., Gašparík, J., Zitrický, V. Methodology for Rating Quality Standards in Regional Passenger Rail Transport. *International Scientific Journal «Trans Motauto World»*, 2018, Iss. 3, pp. 127–130. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/347733887_The_purpose_of_long-distance_passenger_trains_in_public_passenger_transport_system. Last accessed 25.08.2023.
9. Jiancheng Weng, Xiaojian Di, Chang Wang, Jingjing Wang, Lizeng Mao. A Bus Service Evaluation Method from Passenger's Perspective Based on Satisfaction Surveys: A Case Study of Beijing, China. *Sustainability*, 2018, 10 (8), 2723. DOI: 10.3390/su10082723.
10. The Value of Travel Time Savings: Departmental Guidance for Conducting Economic Evaluations Revision 2 (2016 Update). [Electronic resource]: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/2016%20Revised%20Value%20of%20Travel%20Time%20Guidance.pdf>. Last accessed 04.04.2023.
11. Goodwin, Ph. The Influence of Technologies and Lifestyle on the Value of Time ITF Discussion Paper. University of the West of England, Bristol. [Electronic resource]: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/influence-technologies-lifestyle-zero-value-time_0.pdf. Last accessed 25.08.2023.
12. Wardman, M. R. Public transport values of time. *Transport Policy*, 2004, Vol. 11, pp. 363–377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2004.05.001>.
13. Khudyakov, V. Study on assessing the quality of passenger service by public transport in Riga until 2018 [*Issledovanie otsenki kachestva obsluzhivaniya passazhirov gorodskim transportom v Rige do 2018 goda*]. *Research and Technology – Step into the Future*, 2007, Vol. 2, Iss. 2, pp. 5–14. [Electronic resource]: https://tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Research_journal/Res_Tech/2007/V2/1.pdf. Last accessed 25.08.2023.
14. Hansen, S. L. How accessibility shape land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, Vol. 25, Iss. 2, pp. 73–76.
15. Juan de Oña, Rocío de Oña. Quality of Service in Public Transport Based on Customer Satisfaction Surveys: A Review and Assessment of Methodological Approaches. *Transportation Science*, 2014, 49 (3). DOI: 10.1287/trsc.2014.0544.
16. Fonseca, F., Pinto, S., Brito, C. Service Quality and Customer Satisfaction in Public Transports. *International Journal for Quality Research*, 2010, Vol. 4 (4), pp. 125–130. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/328367787_Service_Quality_and_Customer_Satisfaction_in_Public_Transports. Last accessed 25.08.2023.
17. Agureev, I. E., Akhromeshin, A. V. Approaches to formalizing the concept of transport behaviour of the population of urban agglomerations. *Intellect. Innovations. Investments*, 2021, Iss. 2, pp. 60–70. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-60.
18. Guers, Karst. Accessibility and Transport Appraisal: Approaches and Limitations. *International Transport Forum Discussion Papers – OECD Publishing – No. 2020/22*. DOI: <https://doi.org/10.1787/58a96ff1-en>.
19. Zhuk, A. E. Value-based development of logistics systems for urban public passenger transport. Ph.D. (Economics) thesis [*Tsennostno-orientirovannoe razvitiye logisticheskikh sistem gorodskogo obshchestvennogo passazhirskogo transporta*. Diss...kand.ekon.nauk]. St.Petersburg, SPbGEU publ., 2021, 245 p. ●

Information about the author:

Andreev, Sergey A., Advisor to the Secretary General of International Coordinating Council for Trans-Eurasian Transportation; Ph.D. student at JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport, Moscow, Russia, andreevsa@niat.ru.

Article received 07.10.2023, approved 04.11.2023, accepted 08.11.2023.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-11>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 250–261

Duration of Car Movement in the Flow as a Traffic Congestion Indicator



Mikhail G. BOYARSHINOV



Alexander S. VAVILIN

Mikhail G. Boyarshinov¹, Alexander S. Vavilin²Perm National Research Polytechnic University, Perm,
Russia.✉ ¹ mgbayarshinov@pstu.ru.¹ ORCID 0000-0003-4473-6776; Web of Science
Researcher ID: ACE-0166-2022; Russian Science
Citation Index SPIN-code: 5958-2345; Russian Science
Citation Index Author ID: 79853.² ORCID: 0000-0003-4473-6792; Russian Science
Citation Index Author ID: 566592.

ABSTRACT

The relevance of studying traffic congestion is determined by the need to find a scientifically based criterion for its emergence, development and elimination using modern methods of processing information about car flows. The objective of this study is to reveal a quantitative criterion for emergence and evolution of traffic congestion based on a deterministic estimate of time of movement of individual vehicles in the general flow between control boundaries as a random variable of mean value, mode, median, standard deviation, variation indicators, asymmetry, and kurtosis.

The subject of the study related to the patterns of evolution of the listed deterministic indicators of traffic flows, which can be used for operational forecasting of formation, development, and elimination of traffic congestion. The initial data were obtained

using hardware and software systems for fixing traffic violations installed on the urban street-and-road network. As a result of the study, it was found that for the same section of the road, the listed deterministic indicators of a random variable differ significantly during free movement of road transport and in case of a traffic jam. It seems promising to use the average value of duration of movement of cars to identify the stages of emergence, development, and disappearance (liquidation) of traffic congestion. The proposed indicator can serve as a basis for developing a mechanism for real-time assessment of the likelihood of emergence of traffic jams, as well as for developing recommendations for the rapid response of transport services to prevent and eliminate them.

Keywords: road transport, traffic congestion, traffic jam, traffic flow, traffic intensity, duration of movement on the road.

For citation: Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S. Duration of Car Movement in the Flow as a Traffic Congestion Indicator. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 250–261. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-11>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The study on factors and consequences of emergence of traffic congestion, mathematical and computational modelling and simulation, and further forecasting of emergence of traffic congestion is rather a relevant problem that has not found till now adequate solution in Russian or global research. Till recently the term of traffic congestion has been interpreted by the authors in rather a free manner, as this has been revealed in works [1–3] and other papers. It is to note that domestic regulatory definition of traffic congestion first appeared in GOST [State standard] R 55691–2013/ISO/TS 15624:2001. The ambiguity of defining traffic congestion resulted in missing of a reliable quantitative scale to classify, record, and measure this phenomenon, to determine the time of emergence, duration, and end time of traffic congestion. Consequently, there is no possibility to automatically track the location and the time of concentration of vehicles (traffic jam) in the streets of modern city.

The analysis of vehicle flows operates with indicators of uniformity and speed of transport [4; 5], street-road network congestion [6–8], hourly and daily traffic intensity [9–13], as well as deterministic characteristics of random variables [14–16]: mean value, mode, median, variance, standard deviation, indicators of variation, asymmetry and kurtosis, and others. The conduct of field surveys to increase the efficiency of road use, as well as to prevent traffic jams, reduce accidents and negative impact on the environment involves direct observation and study of video recordings¹ of movement of cars in the traffic flow, mobile road laboratories [17], unmanned aerial vehicles [18], satellite monitoring tools [19; 20], vehicle acoustic emission recorders [21], built-in (intrusive) sensors on the roads, probe vehicles equipped with accelerometers, ultrasonic emitters and receivers of the global navigation satellite system, software and hardware complexes for video recording of traffic violations [22–25]. In addition, there is a need for effective technologies for collecting, storing and processing information about the situation on the roads [26; 27], high-performance data processing and analysis algorithms based on multidimensional scaling, methods of statistical,

regression, cluster, harmonic, wavelet and other types of analysis, which allows collecting and studying real-time information about development of the main indicators of traffic flow over time on the road network for various time intervals, on separate sections of roads and their intersections, to build origin-destination matrices, and so on.

The problem of traffic congestion is a priority for the transport system [10; 28; 29]. The reasons for their emergence relate to general increase in the number of cars [17], traffic accidents [30], a decrease in road capacity [31–33], an increase in the density of cars on a road section [34], an increase in the truck fleet and transportation volume [35; 36], the presence of unregulated intersections, entrances and pedestrian crossings [37], the installation of traffic lights with a large number of phases [38], the inconsistency of their work [39], construction and repair work [40], irrational organisation of the work of toll collection points [41], the human factor [26; 37; 42] and other factors.

Traffic congestion leads to a decrease in speed and an increase in travel time [43], an increase in fuel consumption and transportation costs [12], an increase in polluting emissions into the environment, accidents and noise levels, health hazards [26], a decrease in labour productivity and in quality of transport services, in safety of road users [44], deterioration of the psychological state of drivers and passengers.

To detect the presence of a traffic jam and determine the degree of congestion of the road network, in some cases, the average time for passing a section of the road, determined using the software of car navigators, is used² [29]. Since traffic flows as objects of study are stochastic, the works [45; 46] considered the influence of the random nature of the traffic flow on the degree of saturation of controlled intersections and duration of delay of vehicles. A stochastic model of a system of technical means for monitoring and controlling compliance with traffic rules is presented in [47] to assess the effectiveness of managing a traffic safety system. The model [48] of a regulated intersection with several random traffic flows was used in the calculation of traffic light regulation to reduce the likelihood of traffic jams on the street-and-road network.

¹ GOST 32965-2014. Public automobile roads. Methods for accounting for traffic intensity. Moscow, Standartinform publ., 2019, 18 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200132267>. Last accessed 17.04.2023.

² How Yandex.Traffic jams works. [Electronic resource]: <https://yandex.ru/company/technologies/yaprobki>. Last accessed 15.11.2022.



On sections of the road network with high traffic intensity and volatility, adaptive approaches are most effective [35; 49], based on the analysis of traffic congestion and allowing changing the phases of the traffic light in real time, automatically adjusting to the traffic flow, reducing traffic delays, travel time and emissions of pollutants into the atmosphere. The need to develop a methodology for managing traffic flows based on monitoring and predicting the queues of vehicles due to the increased load on the road network is substantiated in [50]. The introduction of intelligent transport systems [51] is aimed at reducing and eliminating traffic congestion by regulating movement of vehicles. The theory of cognitive transport systems [52] involves introduction of mechanisms for continuous research and self-learning of both the transport systems themselves and the transport infrastructure due to the automated collection of data on traffic accidents, their processing in real time for prompt response to changes in the transport situation.

Currently, in the Russian Federation, the concept of traffic congestion is enshrined in the standard³: «Congestion (traffic impediment): a congestion of vehicles forced to significantly reduce speed of movement up to its complete cessation within one or more lanes due to any traffic obstruction». It should be noted the predominantly qualitative nature of this definition and the absence at present of a quantitative indicator that makes it possible to assess the stages of the existence of a traffic jam.

It should be expected that during emergence, evolution and elimination of a traffic congestion as a result of a traffic accident, repair of the roadway, violation of the speed limit or traffic rules, causes of an accidental (spontaneous) nature or due to other circumstances, the main indicators of the traffic flow take on specific (critical) values that distinguish them from the «normal» values unique to each specific section of the road network. The rapid detection of such specific values will allow operators of traffic control services to make informed decisions in a timely manner and take rational actions to manage traffic flows to eliminate the negative consequences of traffic congestion.

³ GOST R 55691-2013/ISO/TS 15624:2001. Transport management and information systems. Traffic Impediment Warning Systems (TIWS). System requirements. Moscow, Standartinform, 2014, 24 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200107272>. Last accessed 28.02.2023.

To correctly determine the specific values of the traffic flow, indicating emergence (evolution, elimination) of a traffic jam, it is necessary:

- To collect data on «normal» traffic flow indicators in the studied area (density, intensity and speed of traffic flow, travel time and other indicators typical for free movement of cars).
- To determine anomalous (critical) values of the main parameters of the traffic flow during formation, development, and elimination of traffic congestion, when there is traffic impediment.
- To perform comparison and analysis of traffic flow indicators in case of free movement of road transport and in case of traffic congestion.
- To develop criteria for detecting anomalous values of traffic flow indicators to assess the probability of emergence of traffic congestion.

The quantitative, scientifically substantiated indicator, suggested by the authors, will allow classifying types of congestions, tracing the fact of emergence of traffic congestion, its starting time, duration, end time, and will be useful to prevent and promptly reveal the conditions for emergence of the traffic congestion on the street-and-road network, will serve as a reference basis to develop recommendations for transport organisations permitting them to rapidly intervene to prevent or neutralise traffic congestions.

Given the above, the *objective* of this study is to identify a quantitative indicator of emergence and evolution of traffic congestion based on the analysis of random values of duration of movement between the control lines of all cars in the observed traffic flow based on revealing of deterministic estimates of time of their movement, including the average value, mode, median, standard deviation, indicators of variation, asymmetry and kurtosis, using modern *mathematical tools of statistical analysis*. It is advisable to compare these deterministic indicators with each other in terms of effectiveness of detecting a traffic jam.

RESULTS

Vehicle Traffic Intensity

The study of emergence and evolution of a traffic jam was carried out on a section of the road 2,2 km long, free from intersections (Pic. 1). The selected section is characterised by spontaneous traffic jam formation, which usually takes place in the afternoon. Observations were carried out during May 8 (there was no traffic jam during the day) and May 9, 2022 (traffic jam



Pic. 1. The section of the road selected for the study; markers indicate observation lines, an arrow indicates the direction of traffic [developed by the authors using resources of 2GIS of LLC «DoubleGIS» [Electronic resource]: <https://2gis.ru/perm>. Last accessed 28.02.2023].

was recorded from 20:00 to 22:00). The initial data for the study were obtained using hardware and software systems for photo and video recording of traffic violations.

Pic. 2 shows the daily dependences of intensity of the traffic flow on the considered section of the road on May 8 (Pic. 2, *a* – the entrance line) and May 9 (Pic. 2, *b* – the entrance line, *c* – the exit line). There are no fundamental differences in the behaviour of intensity of the traffic flow in the absence of a traffic jam on May 8 and its presence on May 9 in the interval from 20:00 (1200 min) to 22:00 (1320 min).

Anomalies in the behaviour of intensity of the traffic flow, which could indicate formation of a traffic jam, were not identified. There are also no fundamental differences that could indicate the presence or absence of a traffic jam in the probability density distribution of the flow intensity values on the specified days at the control boundaries of the considered road section (Pic. 3).

The deterministic indicators of random functions of intensity of the traffic flow on May 8 and 9 (Table 1) also do not allow detecting signs of a traffic jam. Thus, the analysis of the intensity function of the traffic flow on the road section under consideration did not make it possible to distinguish between traffic situations with and without a traffic congestion.

Duration of Movement of Cars in the Flow of Vehicles

It is advisable to consider another indicator of the traffic flow of vehicles related to the regulatory definition of the traffic congestion.

It follows from the definition that the quantitative basis for constructing the traffic congestion criterion can be the speed of vehicles in the traffic flow, changing from the maximum allowed value up to zero, that is, to a complete

stop. It is impossible to determine true, or instantaneous speed of the car at any given time without the use of special technical means in modern conditions.

Since the hardware-software complexes for photo and video recording of traffic violations make it possible to record the state registration plate (that is, to identify a specific car), the moments of the beginning and end of its movement along the studied area, this makes it possible to determine the average speed of each car moving between control lines.

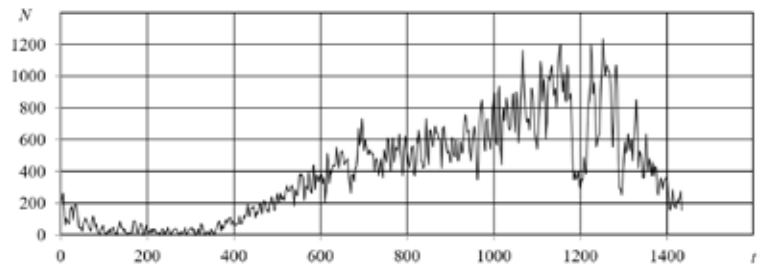
The average speed v_i^{av} and time T_i of the i -th car passing between the control lines are equivalent in terms of informativeness and are related by the relation $v_i^{av} = S / T_i$, where S is the distance between the control lines. However, from the point of view of efficiency of the computational part of the complex, it is advisable to limit ourselves to determining time T_i and not to overload the processor with the calculation of v_i^{av} .

Pic. 4 shows the dependence of duration T_i of movement between the control lines of individual cars on time t of their appearance at the beginning of the section from 0:00 to 24:00 (data obtained from the complex of photo and video recording of traffic violations for May 9, 2022). The sharp increase in duration of movement of cars in the period from 20:00 to 22:00 reflects the formation of a traffic jam on the road.

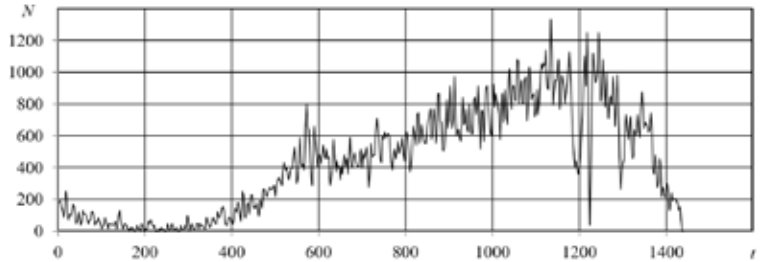
The duration T_i of movement of individual cars can be considered as a function of time t , which is a time series, which made it possible to perform harmonic analysis (Fourier analysis) [53], wavelet analysis [54], the study of the Hurst exponent [55] of the data presented in Pic. 4. The results of the performed analysis make it possible to identify anomalies indicating emergence of a traffic congestion, but the approaches



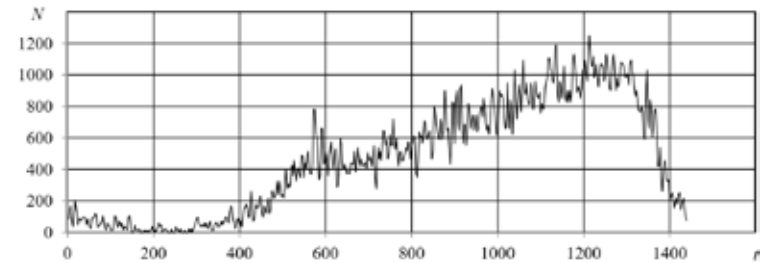
a



b



c



Pic. 2. Dependences of intensity of the traffic flow N (car/hour) on time t (min) on May 8 (a – entrance line) and May 9, 2022 (b – entrance line, c – exit line) [developed by the authors].

themselves turned out to be cumbersome and uneconomical in terms of computational costs.

The method based on the statistical analysis of the time series (Pic. 4) using the «sliding window» turned out to be rational and economical.

Pic. 5 shows the average duration T_{av} of movement of cars along the studied section of the road during the day, depending on the time of their appearance t at the initial boundary,

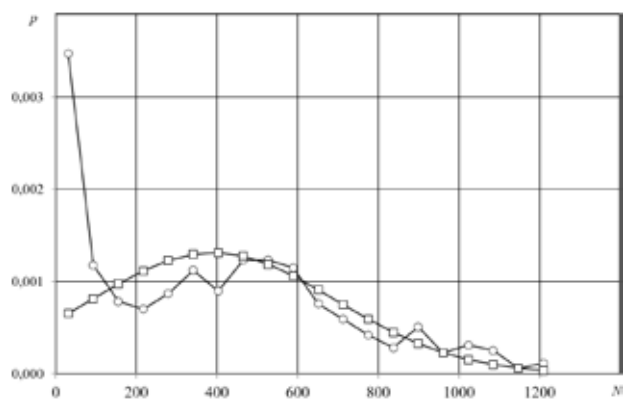
according to the data obtained for May 8 (no traffic jam) and May 9 (traffic jam recorded) 2022. Averaging was carried out over ten-minute time intervals with a successive shift of these intervals by 1 minute («sliding» averaging interval). The formation of a traffic jam is detected by a rapid increase in the average duration T_{av} of movement of cars between the control lines. The elimination of traffic congestion

Table 1

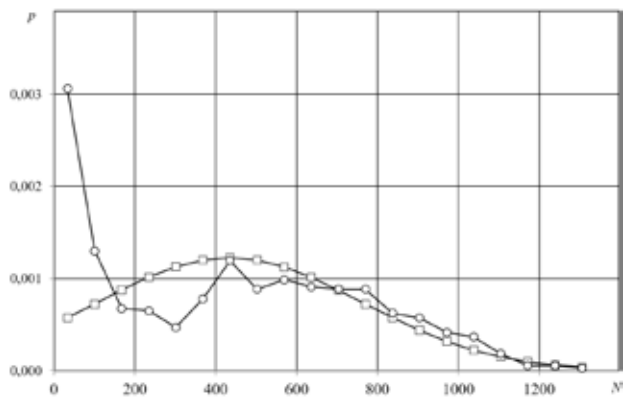
Statistical indicators of traffic intensity on May 8 and 9, 2022 [developed by the authors]

Traffic flow intensity indicators	Date		
	08 May	09 May	
	Entrance line	Entrance line	Exit line
Total number of cars per day, units	9518	10591	11312
Average value, car/hour	396,58	441,29	471,33
Median, car/hour	372,00	438,00	456,0
Standard deviation, car/hour	304,10	325,98	353,22
Variation coefficient, %	76,68	73,87	74,94
Asymmetry	0,53	0,30	0,22
Excess	-0,56	-1,03	-1,27

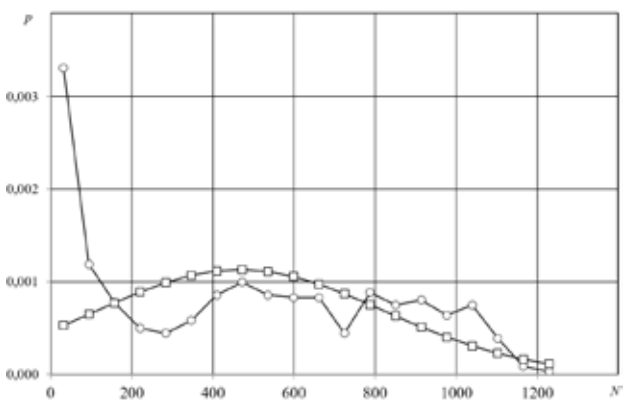
a



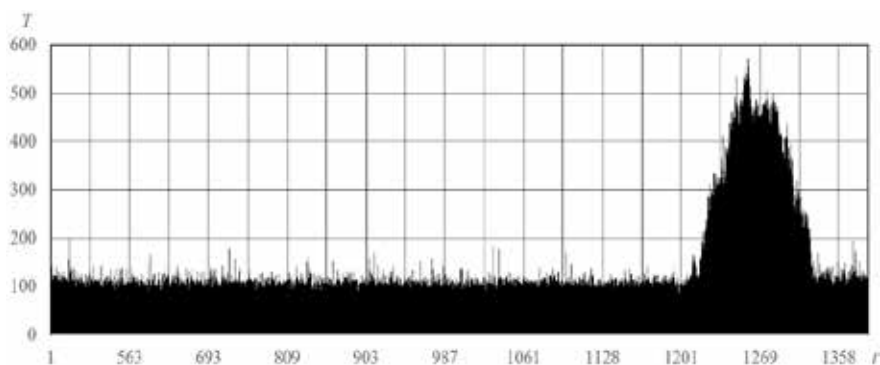
b



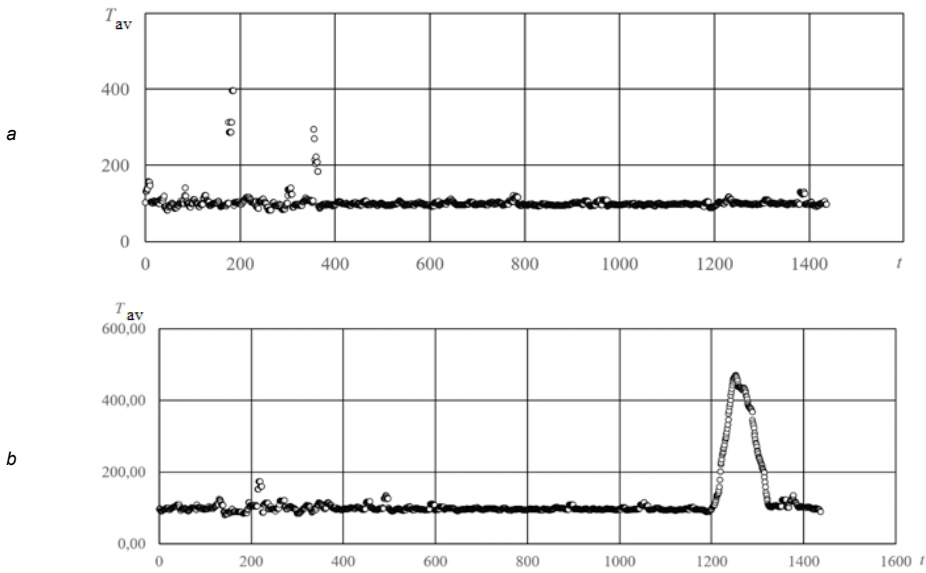
c



Pic. 3. Density distributions p of the probability of the intensity N of the traffic flow on May 8 (a – entrance line) and May 9, 2022 (b – entrance line, c – exit line); experimental (–○–) and theoretical (–□–) distribution curves [developed by the authors].



Pic. 4. The dependence of duration T (s) of movement of individual cars on time t (min) of the appearance of cars at the beginning of the section during the day on May 9, 2022 [developed by the authors].



Pic. 5. Averaged durations T_{av} (s) of movement of cars depending on time t (min) of appearance of cars at the beginning of the section on May 8 (a) and May 9, 2022 (b) [developed by the authors].

Table 2
Statistical characteristics of distribution of duration of movement of cars along the road section for different observation periods on May 9, 2022 [developed by the authors]

Statistical indicators	Observation periods, hours		
	00:00–24:00	00:00–20:00	20:00–22:00
Average value T_{av} , s	130,81	95,62	317,48
Mode, s	96,00	94,50	435,50
Median, s	98,53	95,21	332,78
Standard deviations, s	95,07	12,73	125,47
Variation coefficient, %	72,68	13,31	39,52
Asymmetry	2,60	0,29	-0,30
Kurtosis	5,62	0,23	-1,11

can also be recorded by return of the duration of movement of cars to the established average value characteristic of this section of the road.

Comparison of pictures 2 and 5 makes it possible to explain the high values of T_{av} at the beginning of the day from 0 to 3:20 in the morning, which, apparently, are associated with the low speed of individual cars in the dark and are due to the psychological characteristics of the drivers of these cars, since the traffic volume at this time is negligible.

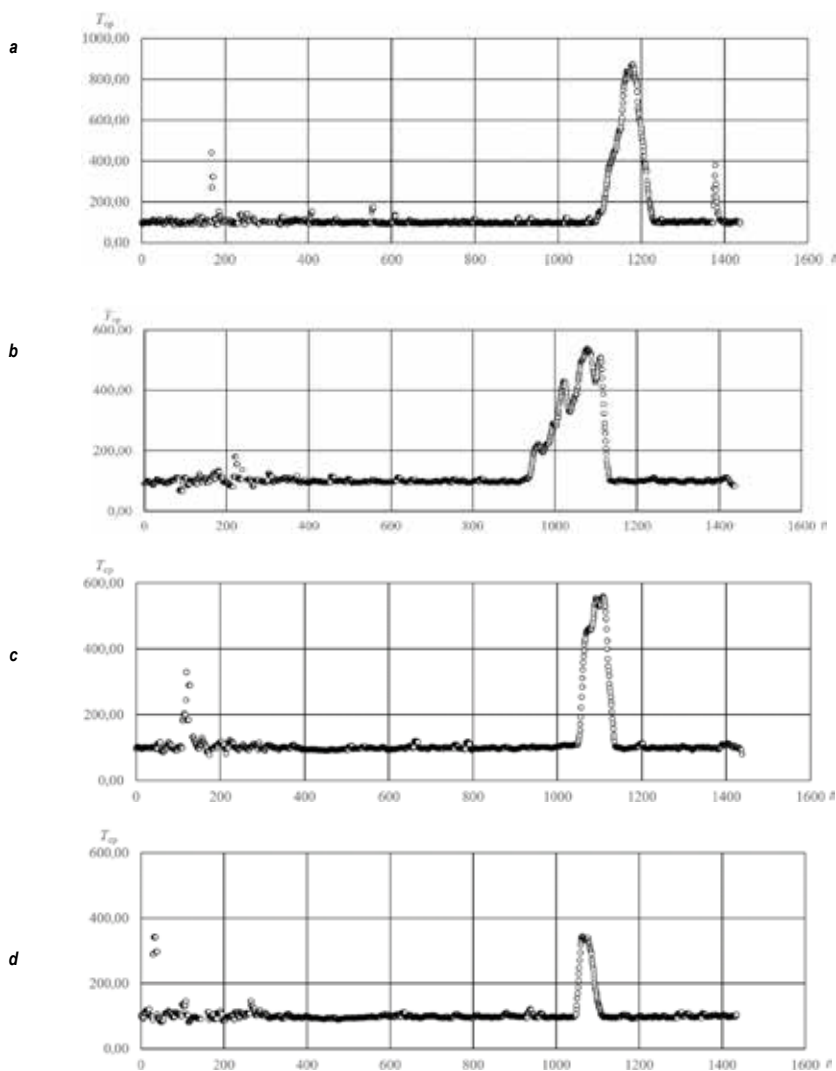
Data given in Table 2 made it possible to compare the main indicators of distribution of the random variable of duration T_i of movement of cars between the control lines in the absence (00:00–20:00) and the presence (20:00–22:00) of a traffic congestion on the road section selected for observation:

- Average value of duration T_{av} of movement of cars in the presence of a traffic jam increased

by 3,32 times compared to movement of cars in its absence.

- Mode has increased by 4,61 times.
- Median has changed by 3,5 times.
- Dispersion has increased by 97,13 times.
- Standard deviation has increased by 9,86 times.
- Variation coefficient has changed by 2,97 times.
- Asymmetry indicator has evolved from 0,29 to -0,30.
- Kurtosis indicator has changed from 0,23 to -1,11.

Thus, all indicators of distribution of random duration of movement of cars in the presence of a traffic jam have changed significantly compared to the same indicators in the absence of a traffic jam. It can be assumed that some of these indicators may turn out to be effective indicators,



Pic. 6. Averaged durations T_{av} (s) of movement of cars depending on the moment of time t (min) of the appearance of cars at the beginning of the section on May 9, 2021 (a), May 3 (b), May 16 (c) and May 27 (d) 2022 [developed by the authors].

the observation of which will make it possible to predict formation, development, and elimination of traffic congestion on urban street-and-road networks, intercity routes and highways.

Pic. 6 shows the average duration T_{av} of movement of cars along the studied section of the road during the day, depending on time of their appearance t at the initial boundary. Averaging was carried out over ten-minute time intervals with a successive shift of these intervals by one minute («sliding» averaging interval). The formation of congestion was recorded on May 9, 2021 (Pic. 6, a), May 3 (Pic. 6, b), May 16 (Pic. 6, c) and May 27, 2022 (Pic. 6, d).

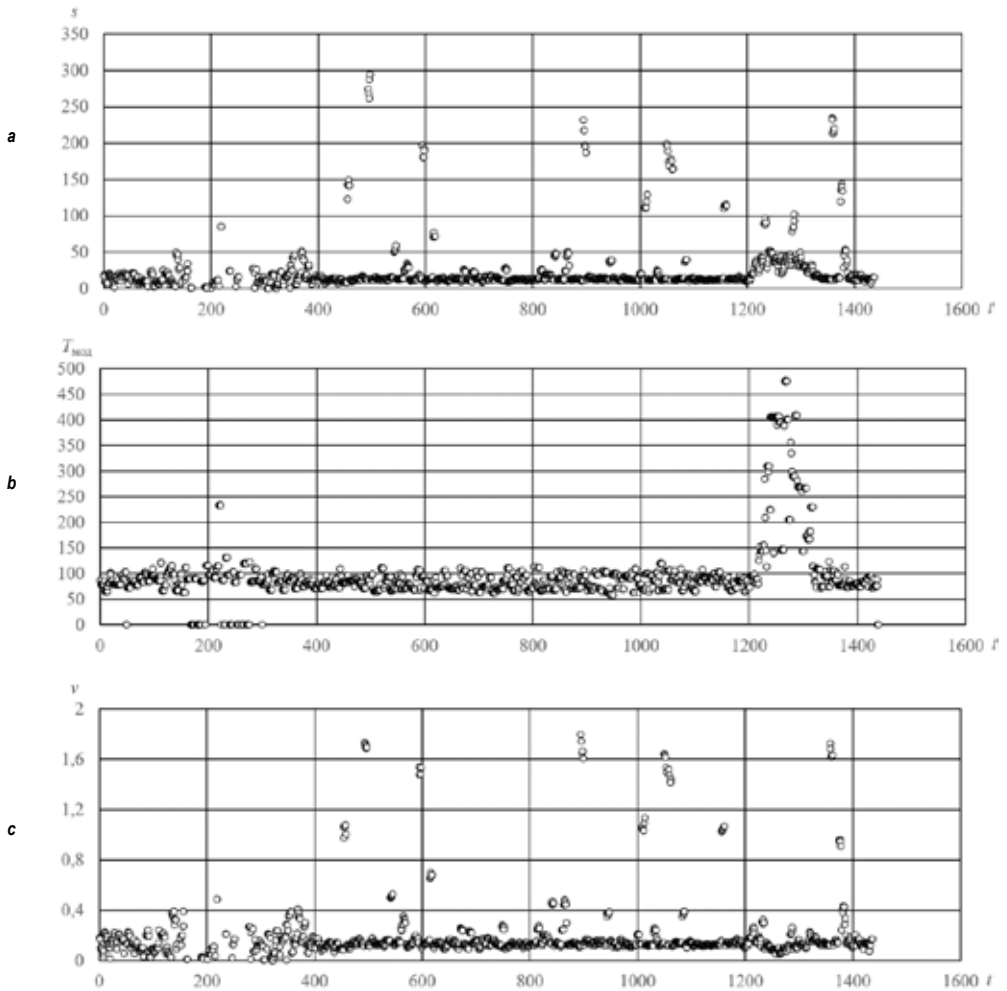
According to the data presented, the onset of traffic jams (from 15:00 to 20:00 local time) and their duration (from 1 hour 15 minutes to 3 hours

20 minutes) are different. As before (Pic. 5, b), formation of a traffic jam is detected by a rapid increase in the average duration T_{av} of movement of cars between the control lines. The elimination of traffic congestion can also be recorded by return of duration of movement of cars to the established average value characteristic of this section of the road.

Pics. 7 and 8 show the statistical characteristics of distribution of a random variable of duration T_i of movement of cars between the control lines: standard deviation, mode, coefficient of variation, asymmetry indicator and kurtosis according to the data obtained for May 9, 2022.

These functions were determined, as before, using averaging over ten-minute time intervals with a sequential shift of these intervals by one minute («sliding» interval).





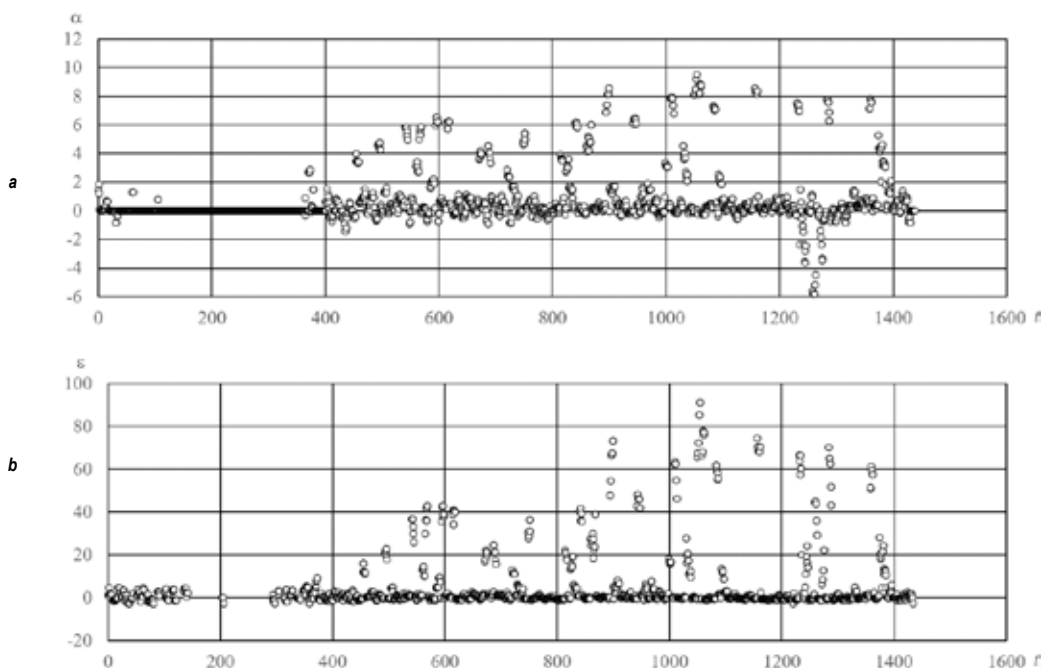
Pic. 7. Statistical characteristics of distribution of the random variable T_i of duration of movement of cars between the control lines: standard deviation (a), mode (b), coefficient of variation (c); data for May 9, 2022 [developed by the authors].

The presented results show that it is advisable to fix the beginning of formation and the end of the traffic congestion precisely by the average value T_{av} of duration of movement of cars, since the dependences of the standard deviation, mode, coefficient of variation, asymmetry index and kurtosis on the observation time t differ in a significant scatter of values and do not allow uniquely identify traffic congestion. Figure 4 and 5, b also shows that the identification of the beginning of formation of a traffic jam should be performed using the average value T_{av} of duration of movement of cars, since the observed duration of movement T_i of each particular car depends on its operational characteristics, experience, driving skills and individual characteristics of drivers, and the dependence of T_i on time is characterised by high oscillation (Pic. 4).

CONCLUSIONS

The processing of data obtained with the help of hardware-software complexes for photo and video recording of traffic violations makes it possible to obtain important and reliable information about the state of the traffic flow in real time. The study has revealed that the dependencies on duration of movement of cars in the flow between two control lines differ significantly in free movement of road transport and in case of a traffic jam. The proposed approach to identifying a traffic congestion can be useful for preventing and promptly identifying the conditions for formation of traffic jams when cars move along street-and-road networks.

The study performed can serve as a scientific and methodological basis for developing a forecast mathematical, computational or simulation model of emergence, evolution and



Pic. 8. Statistical characteristics of distribution of the random variable T , of duration of movement of cars between the control lines: asymmetry indicator (a) and kurtosis (b); data for May 9, 2022 [developed by the authors].

ending of traffic congestion considering core factors (growing number of cars, road traffic accidents, decrease in transit capacity of roads, intersections without traffic lights, entrances and pedestrian crossings, traffic lights with numerous phases, road maintenance and repair works, psychological features of drivers, and other factors). This model can allow further developing recommendations for a prompt response of transport management organisations, science-based forecasting and long-term planning tools, substantiating and making managerial decisions on preventive measures to eliminate the conditions for emergence of traffic congestion.

REFERENCES

1. Kerner, B. S. *The Physics of Traffic*. Berlin, Springer Verlag, 2004, 682 p. DOI: 10.1007/978-3-540-40986-1.
2. Goodwin, P. Policy incentives to change behavior in passenger transport. *International Transport Forum on «Transport and Energy: The Challenge of Climate Change»*, May 28–30 2008, Leipzig, Germany. Bristol, University of the West of England, 2008, 34 p. [Electronic resource]: <https://uwe-repository.worktribe.com/output/1012840>. Last accessed 28.02.2023.
3. Worsley, T., Martin, L., Moore, B. [et al]. *Managing Urban Traffic Congestion*. European conference of ministers of transport. Translated into Russian by Botvinieva, Ya. E., Donchenko, V. V. Saint-Petersburg, Centre for transport research, 2020, 336 p.
4. Durov, R. S., Varnakova, E. V., Kobzev, K. O., Kobzeva, N. D. Analysis of conflict points, conflict situations and calculation of traffic density on a given section of the road network. *Safety of Technogenic and Natural System*, 2020, Iss. 1, pp. 8–15. DOI: 10.23947/2541-9129-2020-1-8-15.
5. Makarichev, A. V., Gorbachev, P. F., Vu, D. M., Gorbacheva, E. A. Car Speed Distribution in Front of a Stop-Line of Urban Regulated Intersection. *Visnik Kharkivskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universitetu*, 2019, Iss. 85, pp. 107–116. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.107.
6. Nesterenko, D. Kh. Investigation of the influence of the structure of motor traffic on the efficiency of the use of the road network section. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2019, Iss. 1, pp. 90–96. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-90.
7. Pavlov, S. N., Grefenshteyn, A. P. Improvement of technique for assessing dedicated bus lane efficiency in large cities. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*, 2020, Iss. 4 (55), pp. 19–25. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44533407>. Last accessed 28.02.2023.
8. Fomenko, N. A., Nagumanova, A. V., Aleksikov, S. V. Analysis of traffic flows on main roads in the city of Volgograd. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2018, Iss. 54 (73), pp. 121–131. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36813882>. Last accessed 28.02.2023.
9. Andronov, R. V., Genze, D. A., Legostaeva, E. N., Belousova, E. V. Determination of traffic flow intensity using the system of points of traffic jam maps. *Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya*, 2019, Iss. 4, pp. 5–12. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.01.
10. Drew, D. R. *Traffic flow theory and control*. [Edition in Russian]. Moscow, Transport publ., 1972, 423 p.
11. Malakhov, R. S., Aleksikov, S. V. Estimation of traffic volume by short-time observation. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2017, Iss. 49 (68), pp. 92–98. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30008873_32252480.pdf. Last accessed 16.05.2023.
12. Silyanov, V. V. *Theory of traffic flows and their management [Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii]*



dorog i organizatsii dvizheniya. Moscow, Transport publ., 1977, 303 p. [Electronic resource]: https://vk.com/doc31736356_477456143?hash=xWEXbgkpGVc9uGG4kEXRizTe nelR9JuPZcTxzh45R6c. Last accessed 16.05.2023.

13. Stasenkov, L. N., Omurbekov, Ch. O., Stalbekova, E. S. Estimation of hour traffic intensity. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitelstva, transporta i arkhitektury*, 2018, Iss. 1 (59), pp. 5–13. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35207236_65233437.pdf. Last accessed 16.05.2023.

14. Ventsel, E. S., Ovcharov, L. A. Theory of random processes and its engineering applications [*Teoriya sluchainykh protsessov i ee inzhenernie prilozheniya*]. Moscow, Nauka publ., 1991, 394 p. ISBN 5-02-014125-9.

15. Ivchenko, G. I., Medvedev, Yu. I. Mathematical statistics [*Matematicheskaya statistika*]. Moscow, Book house «LIBROKOM», 2014, 352 p. ISBN 978-5-397-04141-6.

16. Smirnov, N. V., Dunin-Barkovsky, I. V. Probability Theory and Mathematical Statistics Course for Technical Applications [*Kurs teorii veroyatnostei i matematicheskoi statistiki dlya tekhnicheskikh prilozhenii*]. Moscow, Nauka publ., 1969, 512 p.

17. Evteeva, A. S., Andreev, K. P., Shemyakin, A. V., Terantsev, V. V. A survey of the city's transportation network with the use of measuring complex. *Transportnoe delo Rossii*, 2018, Iss. 1, pp. 132–134. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32851332_44693124.pdf. Last accessed 16.05.2023.

18. Evtiukov, S. A., Evtiukov, S. S., Kurakina, E. V. Smart Transport in road transport infrastructure. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 832 (2020), p. 012094. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012094.

19. Testeshev, A. A., Mikeladze, T. G. Investigation of traffic flows on the streets with irregular traffic by remote satellite monitoring. *Transport. Transportnie sooruzheniya. Ekologiya*, 2019, Iss. 4, pp. 51–57. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.06.

Improvement of Methods for Assessing the Effectiveness of Dedicated Lanes for Public Transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, Vol. 1, No. 3 (109), pp. 29–37. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225397.

21. Frantsev, S. M. An algorithm for calculating the intensity of a traffic flow based on fixing the amplitude value of the acoustic radiation of a car [*Algoritmy vychisleniya intensivnosti transportnogo potoka na osnove fiksatsii amplitudnoi velichiny akusticheskogo izlucheniya avtomobilya*]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2017, Iss. 2, 6 p. [Electronic resource]: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_50_Francev.pdf_6c26dfc023.pdf. Last accessed 16.05.2023.

22. Potekhin, A. S., Strelnikov, A. V. Methodology for assessing the traffic flow at the crossroads according to video surveillance data [*Metodika otsenki transportnogo potoka na perekrestke po dannym videonablyudeniya*]. *Informatsionnye tekhnologii*, 2017, Vol. 23, Iss. 2, pp. 129–134. DOI: 10.17587/it.23.129-134.

23. Shumkov, A. G., Boyarshinov, M. G., Vaskina, E. V. Determination of traffic flow parameters using data from video recording cameras of traffic violations. *Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations: Proceedings of IV International scientific-practical conference Omsk, 28–29 November 2019*. Omsk, 2019, pp. 291–295. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42386884_34467599.pdf. Last accessed 19.05.2023.

24. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S. The deterministic component of the traffic flow intensity. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) 27th–29th October 2020, Saint Petersburg, Russian

Federation, 2021, Vol. 1111, 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012013.

25. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S., Shumkov, A. G. Using the complex of photo and video recording of traffic violations to identify deterministic and stochastic components of the traffic flow intensity. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2021, Iss. 3, pp. 61–71. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.

26. Shepelev, V., Aliukov, S., Nikolskaya, K., Das, A., Slobodin, I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network. *Transport and Telecommunication*, 2020, Vol. 21 (1), pp. 15–31. DOI: 10.2478/tjt-2020-0002.

27. Singh, V., Upadhyay, A., Kumar, A. Integrated Sensor-Based Approach for Traffic Congestion Prediction Using Probe Vehicle. In: Sil, A., N. Kontoni, D. P., Pancharathi, R. K. (Eds.). *Recent Trends in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2023, Vol. 274, Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-4055-2_64.

28. Vladimirov, S. N. Traffic jams in conditions of megapolis. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2014, Vol. 3, Iss. 1 (19), pp. 77–84. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22296853_20177132.pdf. Last accessed 16.05.2023.

29. Lobanov, E. M. Transport planning of cities [Transportnaya planirovka gorodov]. Moscow, Transport publ., 1990, 239 p. ISBN 5-277-00375-4.

30. Kumar, P., Vinodh Kumar, S., Priya, L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road. IOT with Smart Systems. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2023, Vol. 312, Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51.

31. Kornev, A. V., Shaburov, S. S. Traffic congestion. Solutions to the problem [*Transportnie zatory. Varianty resheniya problemy*]. *Molodezhnyi vestnik IrGTU*, 2021, Vol. 11, Iss. 1, pp. 58–63. [Electronic resource]: <http://xn--blagigilai.xn--plai/journals/2021/01/articles/09>. Last accessed 19.05.2023.

32. Shchegoleva, N. V., Gusev, V. A., Vorozheikin, M. A. Formation of congestion in the traffic flow [Obrazovanie zatorov v transportnom potoke]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve*, 2016, Iss. 5 (19), pp. 25–28. [Electronic resource]: <http://trts.esrae.ru/38–205>. Last accessed 19.05.2023.

33. Xomidov, A., Tursunboyev, M. Eliminating congestion on internal roads. *Universum: engineering science. Electronic Scientific Journal*, 2022, Vol. 2 (95). [Electronic resource]: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item#13079>. Last accessed 20.11.2022.

34. Black, W. R. Transportation: A geographical analysis. New York: The Guilford Press, 2003, 408 p. ISBN 1-57230-848-6.

35. Shamlitsky, Ya. I., Okhota, A. S., Mironenko, S. N. Modeling traffic flows in ANYLOGIC. *Programmnie produkty i sistemy*, 2018, Iss. 2, pp. 403–408. DOI: 10.15827/0236-235X.031.3.632-635.

36. Sathiyaraj, R., Bharathi, A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system. *Transport*, 2020, Vol. 35, No 3, pp. 327–335. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.

37. Baskov, V. N., Krasnikova, D. A., Isaeva, E. I. Effect of Driver Behaviour on Traffic Jams. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 4 (83), pp. 272–281. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-272-281>.

38. Andronov, R. V., Elkin, B. P., Genze, D. A. The concept of congestion and vehicular queuing on a controlled intersection in heavy traffic. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*, 2015, Iss. 1, pp. 39–41. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23136607_69272286.pdf. Last accessed 19.05.2023.

39. Vlasov, A. A., Gorelov, A. M. Traffic control light in requirements transport jams. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*, 2014, Iss. 3 (38), pp. 112–117. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21915875_27397897.pdf. Last accessed 19.05.2023.
40. Harsha, M. M., Raviraj, H. Mulangi, Vrunda Kulkarni. Visualization and Assessment of the Effect of Roadworks on Traffic Congestion Using AVL Data of Public Transit. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2022, Vol. 6, No. 28, 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00123-z>.
41. Laskin, M. B., Talavirya, A. Yu. Estimation of traffic flow density based on simulation modeling of a toll plaza. Proceedings of 10 All-Russian scientific-practical conference on simulation modeling and its application in science and industry «Simulation modeling. Theory and practice» (IMMOD-2021), 20–22 October 2021, St. Petersburg, 2021, pp. 272–78. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_47333761_43499734.pdf. Last accessed 19.05.2023.
42. Baskov, V. N., Ignatov, A. V. Dependence of the risk of traffic congestion on the parameters of the traffic flow [Zavisimost riska vozniknoveniya transportnogo zatora ot parametrov transportnogo potoka]. *Scientific and methodological electronic journal «Concept»*, 2015, Iss. 35, pp. 1–5. [Electronic resource]: <https://e-koncept.ru/2015/95553.htm>. Last accessed 19.05.2023.
43. Aftabuzzaman, Md. Measuring Traffic Congestion – A Critical Review. Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum, China, February 2007, 16 p. [Electronic resource]: https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007_Aftabuzzaman.pdf. Last accessed 10.11.2022.
44. Yasir, R. M., Nower, N., Shoyaib, M. Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning Techniques. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10983>.
45. Kashtalinsky, A. S., Petrov, V. V. The influence of road transport factors on the unevenness of traffic flows in cities [Vliyaniye dorozhno-transportnykh faktorov na neravnomernost transportnykh potokov v gorodakh]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, Iss. 1 (108), pp. 116–123. [Electronic resource]: http://journals.istu.edu/vestnik_irtu/journals/2016/01/articles/14. Last accessed 19.05.2023.
46. Petrov, V. V., Kashtalinsky, A. S. Influence of stochasticity on the degree of saturation and traffic flow delay [Vliyaniye stokhastichnosti na stepen nasyscheniya izaderzhku transportnogo potoka]. *Transport Urala*, 2013, Iss. 4 (39), pp. 29–31. [Electronic resource]: <https://e.twirpx.one/file/1697678/>. Last accessed 19.05.2023.
47. Kerimov, M., Evtiukov, S., Marusin, A. Model of multi-level system managing automated traffic enforcement facilities recording traffic violations. *Transportation Research Procedia*, 2020, Vol. 50, pp. 242–252. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.030.
48. Naumova, N. A. Modeling and optimization of traffic light control parameters at the intersection of multi-lane highways [Modelirovaniye i optimizatsiya parametrov svetofornogo regulirovaniya pri peresechenii mnogopolosnykh avtomobilnykh dorog]. *Sovremenniy naukoemkiy tekhnologii*, 2022, Iss. 8, pp. 71–76. [Electronic resource]: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=39269>. Last accessed 19.05.2023.
49. Plotnikov, A. M. Road safety management at one-level intersections. Theory and practice [Upravleniye bezopasnostyu drozhnogo dvizheniya na odnourovnevnykh perekrestkakh. Teoriya i praktika]. St. Petersburg, LLC Expert solutions, 2014, 404 p. ISBN 978-5-9905189-4-0.
50. Lagerev, R. Yu., Mikhailov, A. Yu., Lagereva, S. V. Methodology for preventing network traffic congestion [Metodika preduprezhdeniya setevykh transportnykh zatorov]. *Vestnik NCBZhD*, 2010, Iss. 5, pp. 82–88. [Electronic resource]: https://ncbgd.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_85705.pdf. Last accessed 19.05.2023.
51. Zhankaziev, S., Gavriluk, M., Morozov, D., Zabudsky, A. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 841–847. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068.
52. Malygin, I., Komashinskiy, V., Korolev, O. Cognitive technologies for providing road safety in intelligent transport systems. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 487–492. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.134.
53. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S., Shumkov, A. G. Fourier analysis of traffic intensity. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2021, Iss. 4, pp. 46–59. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-4-46.
54. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S., Vaskina, E. V. Application of wavelet analysis to study the intensity of the traffic flow. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2022, Iss. 4, pp. 72–87. DOI: doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72.
55. Boyarshinov, M. G., Vavilin, A. S., Vaskina, E. V. Application of Hurst exponent to study the intensity of the traffic flow. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2022, Iss. 2, pp. 68–81. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68. ●

Information about the authors:

Boyarshinov, Mikhail G., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Vehicles and Technological Machines of Perm National Research Polytechnic University, Honorary Employee of the Higher Professional Education of the Russian Federation, Perm, Russia, mgbayarshinov@pstu.ru.

Vavilin, Alexander S., Ph.D. student at the Department of Vehicles and Technological Machines of Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, vavilin@tbdd.ru.

Article received 22.02.2023, approved 11.12.2023, accepted 12.12.2023.

From the editors. The article, as the editors hope, can serve as a starting point for further discussion of the topic from various points of view. The reviewers noted the originality of the field observations with the use of photo and video recording tools, the use of methods of statistical analysis of the characteristics of the speed modes of the traffic flow in-between intersections to assess the probability of congestion, whilst in their opinion the recognition of the average duration of movement on the section (or average speed) as an indicator of the formation of congestion is generally recognised, and, therefore, the analysis of other characteristics of the distribution of a random value of the time of movement might be used rather for our purposes, i. e., to assess reliability of transportation, safety, etc. The authors recognising the significance of these areas of scientific research, would like to consider the creation of a basis for the formation of a predictive model of traffic congestion to further develop tools for justification and management decision-making on preventive measures to eliminate conditions for traffic congestion. In this regard, it is important to continue the discussion in the journal.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-12>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 262–270

Results of a Market Study of Vehicle Repairs Covered by Compulsory Motor Third Party Liability Insurance

**Alexander A. Tsyganov***Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.*✉ al_ts@rambler.ru.

ORCID 0000-0001-8572-3248, Scopus ID: 56962746400.

Alexander A. TSYGANOV**ABSTRACT**

In 2022 there emerged difficulties with supply of car spare parts, which, among other things, caused difficulties with repair of insured vehicles. At the end of 2022, the Department of Insurance and Social Economics of the Financial University, as part of the ongoing applied research work, conducted a market study of service stations and car repair shops, which helped to identify the main problems that have arisen and prospects for development of repair practices commissioned by insurance companies. The main hypothesis of the study was that due to a significant change in the timing of repairs, the attitude of car owners to the use of remanufactured and aftermarket spare parts has also changed, which necessitated a change in the operating practices of Russian service stations and car repair shops, as well as in their development strategy for the short and medium term.

The problematic issues identified during the study comprise: a change in attitude towards the use of remanufactured and aftermarket spare parts, an increase in repair time. The article gives a consumer assessment of the impact of these factors on the quality of repairs. The quality of recycled spare parts, if the replacement of the part does not affect the safe operation of the car, is assessed by most unauthorised services stations as acceptable. At the same time, car service customers are ready to downgrade the category of spare parts to speed up repairs or reduce the price of repairs. The decision is influenced by the age of the car and the likelihood of receiving a discount or a reduction in the repair time.

Keywords: motor transport, repair, insurance, spare parts, service station.

For citation: Tsyganov, A. A. Results of a Market Study of Vehicle Repairs Covered by Compulsory Motor Third Party Liability Insurance. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 262–270. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-12>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

During 2022, the situation with car spare parts caused concern among both car owners and insurance organisations, who faced difficulties in performing repairs on insured vehicles, which was associated with both an increase in the cost of auto parts and the complication of logistics and delivery times, as well as concerns about an increase in thefts and insurance fraud. This necessitated a market survey to clarify the situation and identify entrepreneurial sentiment among the owners and management of service stations and car repair shops. Also, the hypothesis of the study was a change in consumer sentiment regarding the use of aftermarket and remanufactured spare parts during repairs, including within the framework of compulsory motor third party liability insurance, from «negative» to «allowing the use» of such spare parts in case of no impact on road safety. The survey was conducted at the end of 2022 and reflects the situation at that time.

METHODOLOGY

When determining the objectives and problems of the research, publications on the topic of organising motor transport services [1–3] and modern problems of the motor insurance market and, first, the most widespread and social type – Compulsory Motor Third Party Liability (CMTPL), including on its effectiveness [4], considering regional Russian specifics [5], the genesis of development [6].

Development of the questionnaire included consideration of opinions on development of the motor insurance market (CMTPL and CASCO full insurance), analysis of problems and prospects [7, 8], legislative restraints and initiatives to change the practices of implementing CMTPL [9–11]. Problems of protecting the rights of consumers of insurance services [12] and public perception of insurance activities in relation to motor insurance [13, 14], including issues of tariffing and validity of the insurance premium [15], combating insurance fraud [16] also had an impact on the statement of research problems and directly influenced the wording of the questions of the market survey.

Finally, using a specially compiled authentic questionnaire¹, at the end of 2022, the Department

of Insurance and Social Economics of the Financial University conducted market research devoted to organising car repairs and assessing changes related to logistics problems in the auto parts market. The study involved 45 companies representing 880 service stations and car repair shops. According to our estimates, this number of survey participants ranges from 1,3 to 2,2 % of the total number of companies providing car repair services in Russia. Companies from different regions of Russia took part in the study, including the regions of Central Russia, Siberia, the Far East, and the republics of the North Caucasus Federal District.

RESULTS

Currently (according to various estimates) there are from 40² to 70 thousand³ car service stations in Russia. The difference in numbers is due to the inclusion of various services (car wash, tire fitting, body repair), not all of which are related to repair of vehicles after traffic accidents and, accordingly, not all of these companies work with insurers under the CMTPL and CASCO programs. It is also important that, according to Autostat, more than 52 % of car repair and maintenance works are carried out by citizens independently or at private craftsmen who prefer not to go beyond the «garage» economy, while the total volume of the market for car repair and maintenance services in 2021 was estimated as 681 billion rubles⁴. In 2022, the directory of Russian Association of Motor Insurers on average prices for spare parts changed; in some cases, the price increase was 50 % per year⁵.

Some of the car services that participated in the market research were part of networks or are divisions of large companies. 31 % of survey participants were official (authorised) services of various automakers (14 companies, Pic. 1), 11 companies operated in the Far East.

² There are 39 thousand car service points in Russia. [Electronic resource]: <https://www.asn-news.ru/news/44846>. Last accessed 25.04.2023.

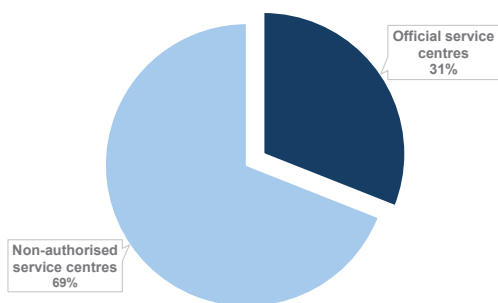
³ There are about 78,000 car service stations in Russia. [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/news/37240/>. Last accessed 25.04.2023.

⁴ In 2021, Russians spent more than 680 billion rubles on car service services. [Electronic resource]: <https://www.autostat.ru/infographics/50348>. Last accessed 25.04.2023.

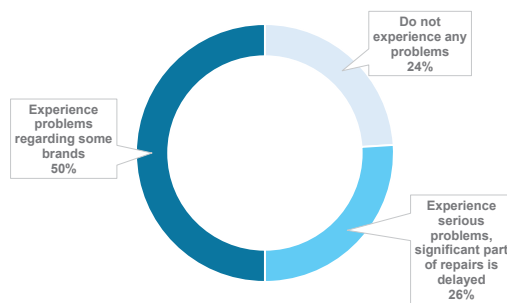
⁵ Spare parts for some car brands have increased in price by more than half. [Electronic resource]: <https://rg.ru/2022/10/25/komu-remont-dorozhe.html>. Last accessed 25.04.2023.

¹ The practical part of the study involved academic staff and researchers at the Department of Insurance and Social Economics of the Financial University, namely Yu. V. Gryzenkova, N. V. Kirillova, L. S. Krutova, M. A. Selivanova, A. D. Yazykov, supervised by A. A. Tsyganov.

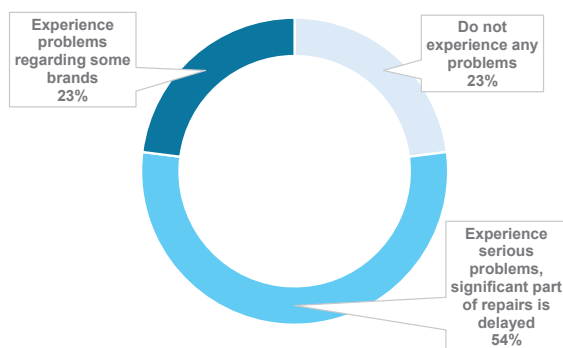




Pic. 1. Distribution of survey participants by official and non-authorized car services, October 2022, % of those who took part in the market survey [hereinafter charts are compiled based on the study carried out by the Department of Insurance and Social Economics of the Financial University].



Pic. 2. Distribution of answers to the question «Assess the current level of supply of spare parts,» October 2022, % of those who took part in the market survey.



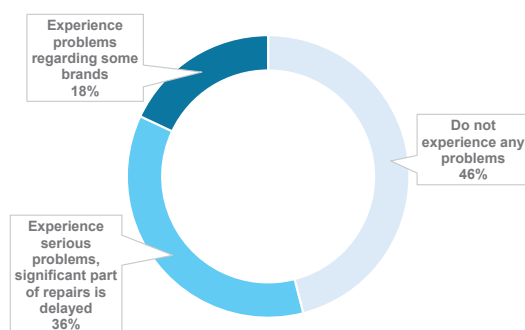
Pic. 3. Distribution of answers to the question «Assess the current level of supply of spare parts,» October 2022, % from companies – official service centres that took part in the market survey.

Since all the service centres that took part in the survey provide car repair services commissioned by insurance companies regarding CMTPL and CASCO, the resulting sample is indicative of the market for services in the field of body repair, which is the most in demand under CMTPL.

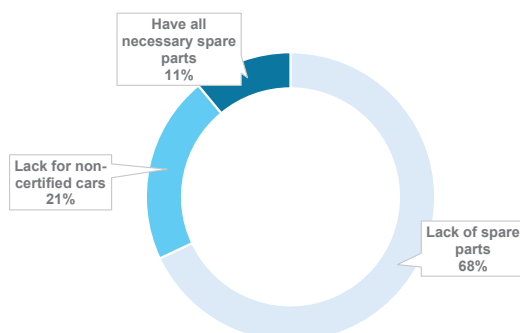
The level of availability of spare parts caused serious concerns and difficulties in repairs (Pic. 2, more than 26 %), in general, most of car services experienced problems with the availability of spare parts (76 %). But this phenomenon was most pronounced among official services (Pic. 3), which must use OEM spare parts. More than 54 % were forced to increase repair times, and 77 % of official auto repair shops experienced problems with spare parts. This assessment coincided with nationwide data, and a greater number of cases of increased repair times were associated with the inability to use remanufactured and aftermarket parts in authorised workshops.

For the Far East, the situation was mitigated by the possibility of supplying aftermarket spare parts from China, the geographical proximity of Japanese and South Korean manufacturers, but was more complicated regarding supplying spare parts for European brands (Pic. 4). This explains the prevalence of answers characterising the absence of problems with spare parts for a significant part of car services (46 %) and the forced delay in repairs for car services working with European brands (36 %). The use of recycled, remanufactured and aftermarket spare parts during repair and maintenance, especially for uncertified cars («right-hand drive» cars), is quite typical for the Russian regions of the Far East, which reduces the severity of the problem of providing new spare parts.

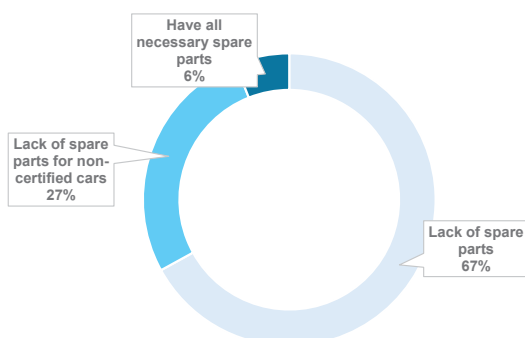
The problem of the lack of new spare parts was typical in general for Russian car services and almost all brands (Pic. 5): both for non-certified (68 %) and official services (Pic. 6, 67 %). Only 11 % of car services had all the



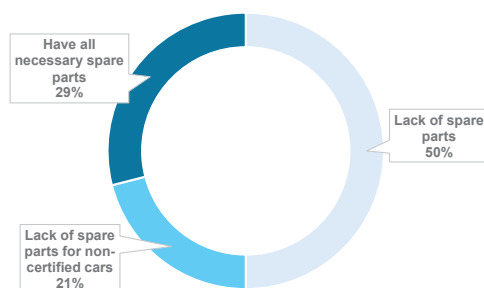
Pic. 4. Distribution of answers to the question «Please assess the current level of supply of spare parts,» October 2022, % from Far Eastern companies that took part in the market survey.



Pic. 5. Distribution of answers to the question «For which categories of cars does your service centre currently lack new spare parts?», October 2022, % from companies that took part in the market survey.

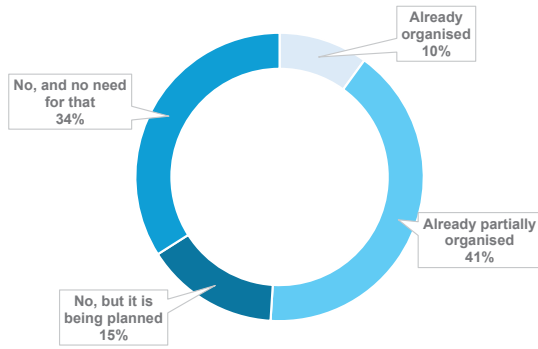


Pic. 6. Distribution of answers to the question «For which categories of cars does your service centre currently lack new spare parts?», October 2022, % from companies – official service centres that took part in the market survey.

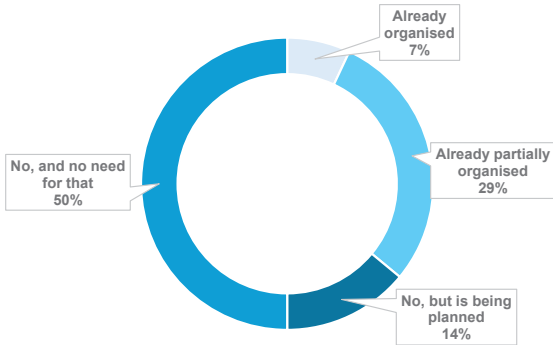


Pic. 7. Distribution of answers to the question «For which categories of cars does your service centre currently lack new spare parts?», October 2022, % from Far Eastern companies that took part in the market survey.

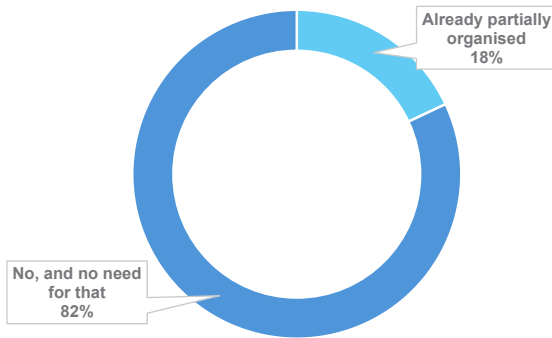




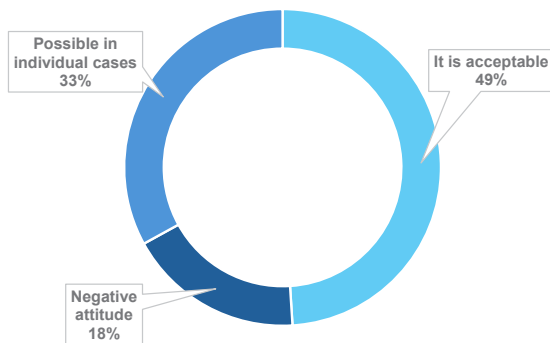
Pic. 8. Distribution of answers to the question «Do you have a supply of new spare parts (for example, from third countries «parallel imports»)?», October 2022, % from companies that took part in the market survey.



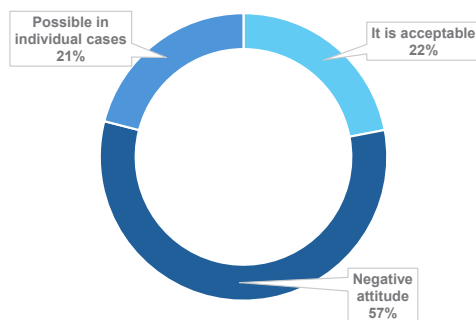
Pic. 9. Distribution of answers to the question «Do you have a supply of new spare parts (for example, from third countries «parallel imports»)?», October 2022, % from companies – official service centres that took part in the market survey.



Pic. 10. Distribution of answers to the question «Do you have a supply of new spare parts (for example, from third countries «parallel imports»)?», October 2022, % from Far Eastern companies that took part in the market survey.



Pic. 11. Distribution of answers to the question «How do you assess the quality of recycled spare parts, if replacing the part does not affect the safety of the vehicle (for example, glass, bumper, etc.)?', October 2022, % of companies that took part in the market survey.



Pic. 12. Distribution of answers to the question «How do you evaluate the quality of recycled spare parts, if replacing the part does not affect the safety of the vehicle (for example, glass, bumper, etc.)?», October 2022, % from companies – official service centres who took part in the market survey.

necessary spare parts in stock, and problems with parts for non-certified cars were noted by 21 % of car services located not only in the European part of Russia.

In the Far East, the level of availability of spare parts is higher; almost a third of respondents (29 %, Pic. 7) noted the availability of all necessary auto parts. However, here too the level of anxiety corresponding to the existing then problems with the lack of new spare parts is 50 %. Some far eastern respondents (21 %) noted problems with spare parts for non-certified cars as well.

It is clear that problems with auto parts in the absence of the possibility of purchasing from an official manufacturer can be solved in various ways, including through organisation of parallel imports, which were allowed in Russia in 2022. In this case, significant differences appeared between nation-wide trends and the Far Eastern specifics of the car market. Pics. 8–10 provide information on the use of parallel imports in the activities of car services. 66 % of car services used or planned to use this channel for the supply of spare parts to some extent (Pic. 8).

Official car service centres relied to a greater extent on official supplies; in half of the cases,

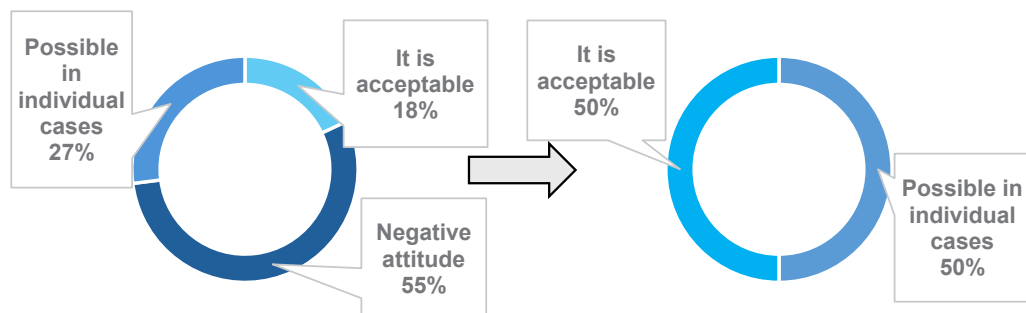
they did not consider other options for supply of spare parts (Pic. 9), while 36 % nevertheless used the services of parallel importers.

The situation in the Far East was less dependent on the supply of spare parts from European automakers; as a result, 82 % of car services did not need supplies through parallel imports, and 18 % partially used them when necessary (Pic. 10).

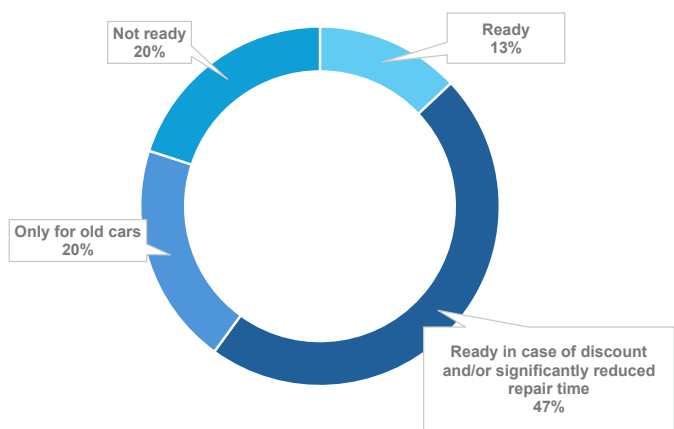
In the context of a shortage of new spare parts, it is quite logical to use suitable spare parts that have already been used. Now, such spare parts can be used, and in the case of repairs as part of an insurance payment under CMTPL, this is possible with the consent of the beneficiary. Therefore, it is advisable to consider the approach to the use of such spare parts from both car services and car owners.

In general, in Russia, car services considered it possible to use recycled spare parts if replacing the part does not affect the safety of the vehicle. 82 % considered this practice possible at least in some cases, and 49 % considered it an acceptable option for car repair in general (Pic. 11).

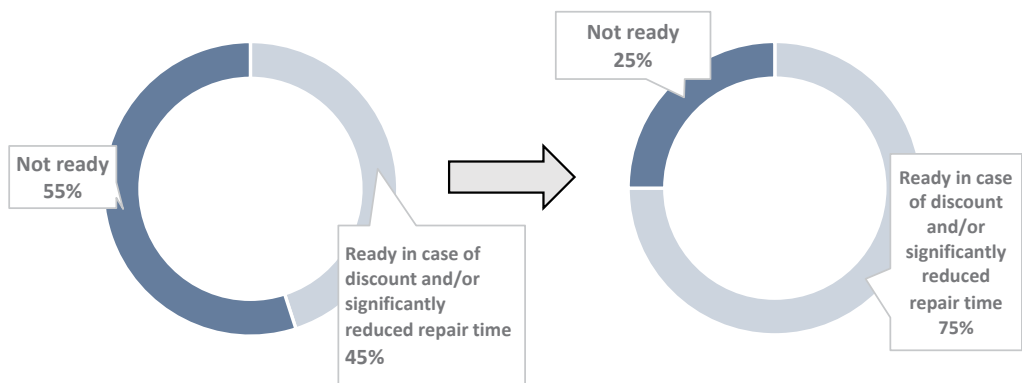
Official car services predictably had a more negative attitude towards the use of recycled parts, which was associated with warranty



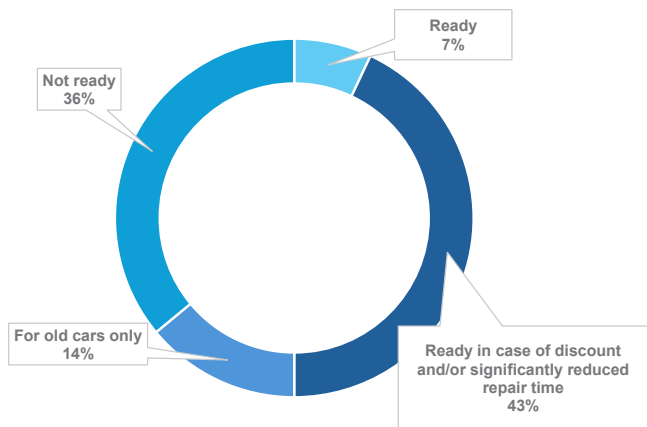
Pic. 13. Distribution of answers to the question «How do you evaluate the quality of used spare parts, if replacing the part does not affect the safety of the vehicle (for example, glass, bumper, etc.)?», October 2022, % of Far Eastern companies that took part in a market survey. On the right are data for non-authorised car services only.



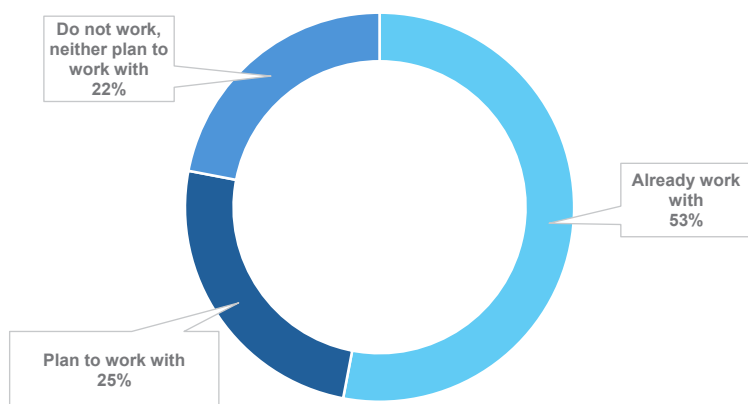
Pic. 14. Distribution of answers to the question «Are your customers ready to downgrade the category of spare parts (for example, use aftermarket parts instead of OEM ones, use remanufactured ones instead of aftermarket parts) to speed up repairs or reduce the cost of repairs?», October 2022, % of companies that took part in the market survey.



Pic. 15. Distribution of answers to the question «Are your customers ready to downgrade the category of spare parts (for example, use aftermarket parts instead of OEM ones, use remanufactured ones instead of aftermarket parts) to speed up repairs or reduce the cost of repairs?», October 2022, % of Far Eastern companies that took part in the market survey. On the right are data for non-authorized services only.



Pic. 16. Distribution of answers to the question «Are your customers ready to downgrade the category of spare parts (for example, use aftermarket parts instead of OEM ones, use remanufactured ones instead of aftermarket parts) to speed up repairs or reduce the cost of repairs?», October 2022, % of companies – official service centres that took part in a market survey.



Pic. 17. Distribution of answers to the question «Does your service centre plan to work with brands from eastern countries (China, India, Iran and others)?», October 2022, % of companies that took part in the market survey.

obligations, formalisation of technological processes, and in some cases with the impossibility or complexity of using non-new parts on automated equipment (Pic. 12).

Interestingly, car services in the Russian Far East also had a negative attitude towards the use of used car parts (55 %, Pic. 13). This can be partly explained by participation in a survey of companies that repaired cars based on referrals from insurance companies, which suggested that they use new spare parts. Also, among the Far Eastern companies participating in the survey, a significant part were official services. This leaves its mark on distribution of answers.

Moreover, if the answers of authorised service centres are excluded from the survey of Far Eastern companies, the picture changes completely – the rest, that is non-authorised centres believed that the use of recycled spare parts is permissible and acceptable (50 % in most cases, and 50 % in some cases). The authorised services in the Far East spoke in favour of the use of OEM parts in 91 % of responses. This is influenced by the same reasons as in general for authorised services, but also by additionally objectively smaller problems and costs for the changed logistics, at least in terms of Japanese and South Korean foreign cars that prevail in the region.

Estimates of the likelihood of consumer consent to the use of recycled spare parts varied depending on the region and the quality of service. It is obvious that repairs of «old» cars, carried out in personal garages or small private workshops and by self-employed people, rarely

do without restoring their own or remanufacturing used parts. Answers to the question «Are your customers ready to downgrade the category of spare parts (for example, use aftermarket instead of OEM ones, use remanufactured ones instead of aftermarket ones) to speed up repairs or reduce the cost of repairs?» were distributed as shown in Pic. 14. The main driving motive is providing a discount or reducing the repair period (47 %). Some clients immediately ask about this possibility if the vehicle remains safe to operate, understanding the objective difficulties that have arisen with the supply of spare parts (13 %).

Far Eastern clients were ready to use recycled parts in almost half of the cases (Pic. 15).

It is noteworthy that some clients of official services, immediately upon contacting the service, were ready for repairs using aftermarket and remanufactured spare parts, understanding the arisen difficulties (Pic. 16). Clients of 36 % of services were fundamentally unready.

To assess development prospects, a survey question was asked «Does your service centre plan to work with brands from eastern countries (China, India, Iran and others)?» (Pic. 17). 22 % of respondents did not expect to work with new automakers in the near and medium term, the rest were either already working (53 %) or planning to start working, some of the latter service centres planned to become authorised centres (25 %).

CONCLUSIONS

1. In 2022, there was a shortage of new auto parts, which caused difficulties and an increase in repair time, this was noted by 76 % of service



centres. Significant problems were experienced by 26 % of all services, and by 54 % of authorised centres.

2. 68 % of Russian car service centres did not have sufficient quantity of new spare parts. In the Far East, the level of availability of spare parts was higher; 29 % noted the availability of all necessary auto parts. The problem with almost all services was the provision of new spare parts for non-certified (right-hand drive) cars.

3. Providing new spare parts was organised in no more than 10 % of car services; 30–40 % of car services planned to establish such a process for supplying spare parts. At the same time, in the Far East there such need was not practically mentioned.

4. The quality of recycled spare parts, if replacing a part does not affect the safe operation of the vehicle, was assessed by most non-authorised services as acceptable. In the Far East, this opinion was the only one expressed by non-authorised services.

5. Customers of car services were ready to downgrade the category of spare parts (for example, use aftermarket ones instead of OEM ones, use remanufactured ones instead of aftermarket parts) to speed up repairs or reduce the cost of repairs in half the cases. The decision was influenced by the age of the car and the likelihood of receiving a discount or reducing the repair period. Clients of non-authorised Far Eastern services in most cases (75 %) were ready to consider installing such parts if a discount is provided.

Those conclusions are based purely on the results of the 2022 market survey and summarise the opinion of respondents, other aspects and consecutive developments are subject to further research.

REFERENCES

1. Gryaznov, M. V., Antropova, E. M. Balance of Interests in a Car Fleet Service Contract. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 5 (66), pp. 152–165. EDN: YSQFTR.
2. Kotliarov, I. D. Organization of Motor Transport Services on the Basis of Commercial Car Sharing. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 6 (67), pp. 78–85. EDN: ZGWNWL.
3. Razgovorov, C. I., Bazhenov, Y. V. The Issue of Centralization and Development of Car Warranty Service.

World of Transport and Transportation, 2014, Vol. 12, Iss. 2 (51), pp. 142–146. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/61>. Last accessed 23.04.2023.

4. Rybakov, S. I. Assessment of the economic efficiency of transport insurance in the Russian Federation [*Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti transportnogo strakhovaniya v Rossiiskoi Federatsii*]. *ETAP: economic theory, analysis, practice*, 2022, Iss. 4, pp. 135–167. EDN: ZMFBCP.

5. Tsyganov, A. A., Yazykov, A. D., Yanenko, E. A. On changes in the territorial CMTPL coefficient in the regions of Russia [*Ob izmeneniyakh territorialnogo koeffitsienta OSAGO v regionakh Rossii*]. *Finansy*, 2020, Iss. 8, pp. 39–44. EDN: WBPPRN.

6. Yazykov, A. D., Tsyganov, A. A., Kirillova, N. V., Yanenko, E. A. General indicators of the CMTPL market 2015–2018 [*Obshchie pokazateli rynka OSAGO 2015–2018*]. *Strakhovoe delo*, 2019, Iss. 4 (313), pp. 32–44. EDN: DVHSQZ.

7. Melnikov, V. V. Auto liability insurance: what's next? [*Strakhovanie avtograzhdanskoi otvetstvennosti: chto dalshe?*]. *Finansy*, 2017, Iss. 2, pp. 28–33. EDN: YICGAJ.

8. Solovieva, Yu. R., Khominich, I. P. On measures to improve the efficiency of CMTPL [*O merakh po povysheniyu effektivnosti OSAGO*]. *Strakhovoe delo*, 2019, Iss. 9 (318), pp. 45–53. EDN: NCJMAV.

9. Dedikov, S. V. Single insurance contract for CMTPL and CASCO: legal aspects [*Ediniy dogovor strakhovaniya OSAGO i kasko transportnykh sredstv: pravovye aspekty*]. *Finansy*, 2019, Iss. 11, pp. 26–29. EDN: SAELTS.

10. Karimullina, A. E. Insurance compensation in kind under the CMTPL agreement: problems of legislation and law enforcement practice [*Strakhovoe vozmeshchenie v naturalnoi forme po dogovoru OSAGO: problemy zakonodatelstva i pravoprimenitelnoi praktiki*]. *Transportnoe pravo*, 2020, Iss. 2, pp. 9–12. EDN: LSFTDF.

11. Spletukhov, Yu. A. Adjusting legislation and increasing the efficiency of CMTPL [*Korrektirovka zakonodatelstva i povyshenie effektivnosti OSAGO*]. *Finansy*, 2021, Iss. 1, pp. 35–41. EDN: PLYROI.

12. Sannikova, L. V. Problems of protecting the rights of consumers of insurance services [*Problemy zashchity prav potrebitelov strakhovykh uslug*]. *Predprinimatelskoe pravo*, 2020, Iss. 2, pp. 17–26. EDN: XPBXBU.

13. Zubets, A. N. Public perception of the cost of CMTPL [*Obshchestvennoe vospriyatie stoimosti OSAGO*]. *Strakhovoe pravo*, 2020, Iss. 2 (87), pp. 20–24. EDN: HAOTRS.

14. Zubets, A. N. Assessment of the quality of work of insurers when selling CMTPL policies and making insurance payments (according to sociological research) [*Otsenka kachestva raboty strakhovshchikov pri prodazhe polisov OSAGO i pri strakhovykh vyplatakh (po dannym sotsiologicheskikh issledovaniy)*]. *Strakhovoe delo*, 2020, Iss. 1 (322), pp. 42–47. EDN: WZTQWR.

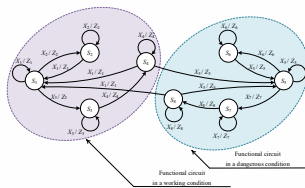
15. Tulenty, D. S. On the issue of price adequacy and margins in CMTPL [*K voprosu ob adekvatnosti tsen i marzhinalnosti v OSAGO*]. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiiskoi Federatsii*, 2020, Iss. 10 (229), pp. 40–51. EDN: JQPDZT.

16. Beletskiy, I. A. Fraud in the field of CMTPL [*Moshennichetvo v sfere OSAGO*]. *Zakonodatelstvo*, 2019, Iss. 10, pp. 71–75. EDN: TZMSUQ. ●

Information about the author:

Tsyganov, Alexander A., Professor, D.Sc. (Economics), Head of the Department of Insurance and Social Economics at the Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, al_ts@rambler.ru.

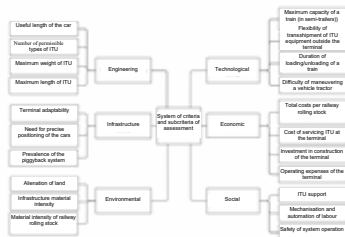
Article received 04.05.2023, approved 17.07.2023, accepted 21.08.2023.



INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

272

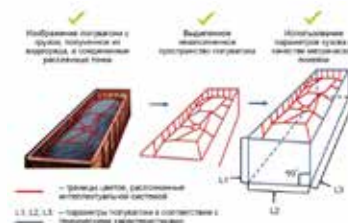
Structural health monitoring for highways and road traffic control: data interoperability.



SUSTAINABLE SUPPLY CHAINS

282

Piggyback systems: universal features and selection criteria.



CONTROL OF CARGO SAFETY

291

Stereophotogrammetry, convolutional neural network for monitoring cargo transported in open railway cars.



INTERNATIONAL LAW

298

Maritime security: role and instruments of the International Ship and Port Facility Security Code.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 272–281

Technological Basis for Data Interoperability of Highway Structural Health Monitoring Systems and Intelligent Transport Systems



Dmitry V. EFANOV



Evgeny M. MIKHAILYUTA



Artem V. PASHUKOV

Dmitry V. Efanov¹, Evgeny M. Mikhailyuta², Artem V. Pashukov³^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.¹ Research and Design Institute for Transport and Construction Safety, St. Petersburg, Russia.^{1,3} Russian University of Transport, Moscow, Russia.¹ Tashkent State Transport University, Tashkent, Republic of Uzbekistan.✉ ¹ TrES-4b@yandex.ru.¹ ORCID 0000-0002-4563-6411; Web of Science Researcher ID: A-1096-2017; Scopus ID: 36349091500; Russian Science Citation Index Author ID: 320051.² Russian Science Citation Index SPIN-code: 5191-7298, Russian Science Citation Index Author ID: 1220988.³ Scopus ID: 57337153300; Russian Science Citation Index SPIN-code: 4189-4012.

ABSTRACT

The study is devoted to description of technological basis for data interoperability of structural health monitoring system for highway artificial structures with intelligent transport systems as well as to developed physical and functional architectures for data interoperability of these systems.

The study also highlights possibilities of using monitoring data to automatically launch scenarios for emergency situational road traffic control and offers a developed mathematical model describing

the features of switching between road traffic control modes and steps to implement relevant digital device.

The paper suggests also a simple algorithm developed for diagnosing and activating a scenario in case of a dangerous state of the monitored object.

The results of the work may be advised for consideration when developing intelligent transport systems in the road industry to improve the level of road traffic safety.

Keywords: intelligent transport system; structural health monitoring; data interoperability of systems; automatic situational control; using monitoring data to run scenario.

For citation: Efanov, D. V., Mikhailyuta, E. M., Pashukov, A. V. Technological Basis for Data Interoperability of Highway Structural Health Monitoring Systems and Intelligent Transport Systems. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 272–281. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-13>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The development of regions and cities follows the path of intellectualisation of processes and creation of «smart» systems and subsystems capable of self-adaptation and providing users with an expanded set of services [1; 2]. All this fully refers to the transport systems of regions and cities as well.

The use of intelligent transport systems (ITS) in road transport allows us to improve the principles of traffic control and, importantly, increase the safety of the transportation process. ITS are being implemented all over the world, including on highways of the Russian Federation [3; 4].

ITS are implemented using a variety of technical means that make it possible to provide traffic participants (within commercial, corporate, and social segments) with various information and communication services: from automatic toll collection and parking management to optimisation of traffic flows depending on road congestion [5]. The role of ITS in the traffic system on the road arteries of large cities is, in general, irreplaceable, since it is the use of the services, they provide, that allows users to significantly save time resources.

ITS includes hardware and software components, including devices for monitoring vehicles, traffic flows and infrastructure facilities. Requirements for functional and physical architectures of ITS are given in GOST R [Russian state standard] 56294–2014 «Intelligent transport systems. Requirements for functional and physical architectures of intelligent transport systems». To achieve ITS management goals, scenarios are used that allow the implementation of normal and emergency control modes. The normal control mode allows controlling traffic in accordance with the planned work, the emergency mode allows doing that depending on the current situation. Emergency control can be operational and situational: the first refers to control that requires planned intervention (for example, assigning priority to certain modes of transport), and the second refers to control that requires unplanned intervention in operation of the system (for example, control in case of a traffic accident).

Highways that comprise complex and unique engineering structures, often require implementation of structural health monitoring systems (SHMS) or more functional structured structural health monitoring and control systems

(SHMCS) the structure of which as a rule integrates SHMS [6], allowing real-time analysis of their technical condition.

The regulatory document GOST R [Russian state standard] 59200–2021 «Automobile roads of general use. Bridges and culverts. Capital repair, repair and maintenance. Technical regulations» in its clause 7.2.9 stipulates that control of the condition of bridge structures, inter alia, is carried out with a system for monitoring the technical condition of engineering structures, considering the requirements of GOST R 22.1.12 «Safety in emergencies. Structured system for monitoring and control of building / construction engineering equipment. General requirements», while the clause 7.2.10 indicates that subject to monitoring are bridges:

- with large spans (more than 100 m long);
- high height (height of piers more than 40 m);
- with complex design solutions and features (suspension, cable-stayed, swing, road-rail bridges, drawbridges);
- operated under difficult engineering-geological, seismic or climatic conditions;
- operated after construction, reconstruction, modernisation or repairs carried out using new technologies, structures and materials;
- operated under emergency conditions caused by emergency circumstances during the period of liquidation of emergencies.

Many facilities around the world, most often bridge structures, are equipped with automated monitoring systems [7–9]. In Russia, for example, automated monitoring systems are installed on the transport crossing across the Kerch Strait [10], the bridge crossing to Russky Island across the Eastern Bosphorus Strait [11], the bridge crossing over the Pur River in Yamalo-Nenets Autonomous District [12] and many other objects. The use of these systems makes it possible to identify the development of critical situations related to operation of monitoring objects and the corresponding operational intervention in traffic management.

The use of SHMS could have prevented many major accidents and disasters, for example, the famous disaster of the Morandi Bridge in Italy, which occurred on August 14, 2018, when one of the bridge spans collapsed with dozens of cars on it causing victims¹. ITS could implement

¹ A road bridge collapsed in Genoa, Italy, killing dozens of people. [Electronic resource]: <https://lenta.ru/news/2018/08/14/bridge/>. Last accessed 01.06.2023.



emergency situational management considering the SHMS operating on highways. However, such interoperability has not yet been fully implemented: the results of structural health monitoring are analysed by dispatch personnel and are not automatically used when implementing scenarios for road traffic control. Moreover, at the regulatory level in the road sector, the interoperability itself is not regulated (neither interstate or national standards, nor road industry's methodological documents have been validated).

This article is devoted to the presentation of the technological features of data interoperability of SHMS and ITS, which allow, in the near future, to automatically run scenarios of emergency situational control on highways during critical changes in the state of monitored objects.

RESULTS

Data Interoperability of Monitoring and Control systems

First, it is necessary to note several important aspects regarding the operation of SHMS.

Firstly, these systems are not certified to safety integrity levels and often provide results with low reliability, and that should be undoubtedly taken into account when using monitoring data for management and control of any critical technological processes. Therefore, SHMS must necessarily be subject to requirements for reliability of recording so-called diagnostic events – events that occur during operation of the monitored object. In the road industry, it is necessary at the regulatory level to regulate the procedure for implementing SHMS with the required level of safety integrity.

Secondly, the ITS itself must contain SHMS data analytics tools (or the data must be considered in some external analytics platforms before transferring them to the ITS hardware and software systems): for example, data received from, respectively, SHMS and tools of road load monitoring are not jointly processed in any way, which does not make it possible to record the exact cause of the load on the monitored object and, accordingly, does not make it possible to consider monitoring data when implementing additional traffic control scenarios.

Thirdly, it is necessary to establish a list of critical diagnostic situations that cause changes in road traffic control modes and causing transition of the transport system to a dangerous

state. For example, it is necessary to identify at least one diagnostic situation that is associated with the transition of a monitored object to a dangerous state that does not guarantee its safe operation.

Considering these aspects, let us move on to a description of the architecture of data interoperability of monitoring and control systems, as well as of its technological foundations.

First, let us note that this problem has been raised more than once in related sectors of transport – on railways there is still no data interoperability of SHMS (and of other stationary automated monitoring systems) with automated train traffic control systems [13]. However, attempts to establish such interoperability are being made at JSC Russian Railways, that is described, for example, in [14]. Let us note that the data interoperability between SHMS and the train traffic control system described in that work cannot be safe, since the reliability of the monitoring results has not been determined by industry's regulations. However, the management of JSC Russian Railways is currently pondering over developing regulatory documentation regarding the use and operation of SHMS, as well as the interpretation of monitoring results.

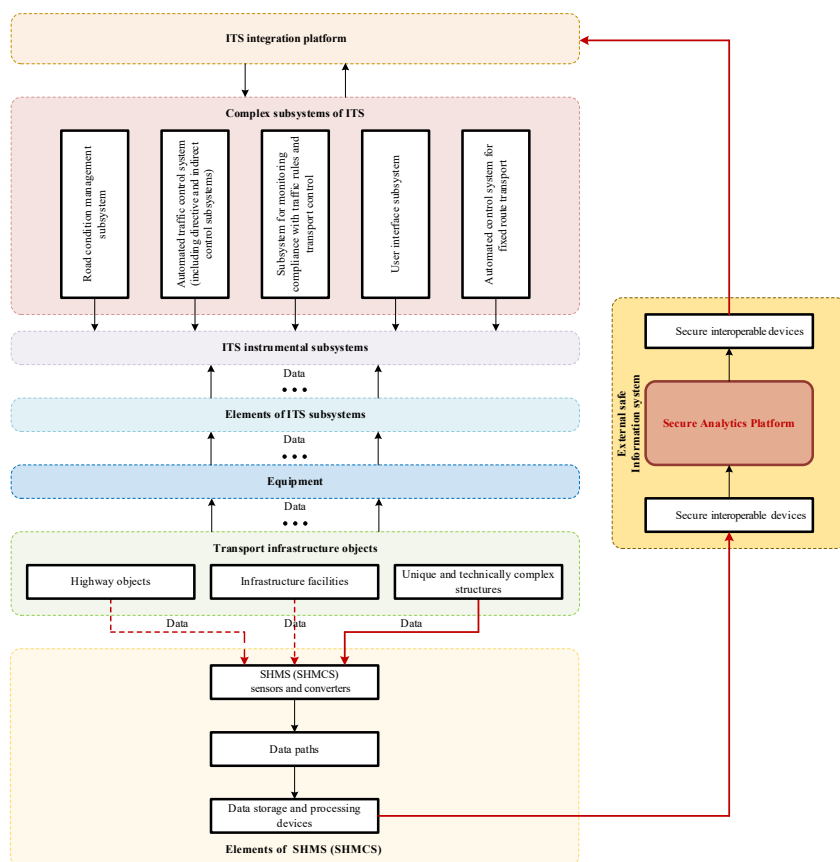
The paper [15] described the basics of creating safe train traffic control systems providing for data interoperability with measuring systems. Consideration of developments in railway industry, where train traffic control systems are certified to the highest level of safety integrity (SIL 4), is extremely important for the road industry.

Architectures of Interoperability of Monitoring and Control Systems

Let us define some important functional requirements for data interoperability of SHMS and ITS:

- SHMS data enter an external secure analytics platform, which generates data messages with a predetermined level of reliability (it must be regulated) and then transmits to the ITS only a signal about the alarm level for the monitored object (for this example, we will limit ourselves to only such a signal, in reality, it is possible to make a much deeper gradation of diagnostics situations).

- SHMS and ITS must have compatible protocols for integration.



Pic. 1. Hardware architecture [developed by the authors].

– SHMS data should have high reliability for subsequent analysis, and this indicator must be standardised.

– SHMS and an external secure analytics platform should process data in real time for rapid launching of ITS scenarios.

– Data interoperability should comply with cyber security requirements.

– Integration of SHMS and ITS, as well as interaction between systems should comply with security and data integrity standards.

The hardware and functional architectures of ITS, which had data interoperability with the SHMS tools, is shown in Pics. 1 and 2. They have been developed by the authors of the article considering the ITS architecture provided for in GOST R [Russian State standard] 56294–2014 «Intelligent transport systems. Requirements for functional and physical architectures of intelligent transport systems» and the SHMS architecture provided for in GOST R [Russian State standard] 59943–2021 «Automobile roads of general use. Systems of monitoring bridges. Design rules».

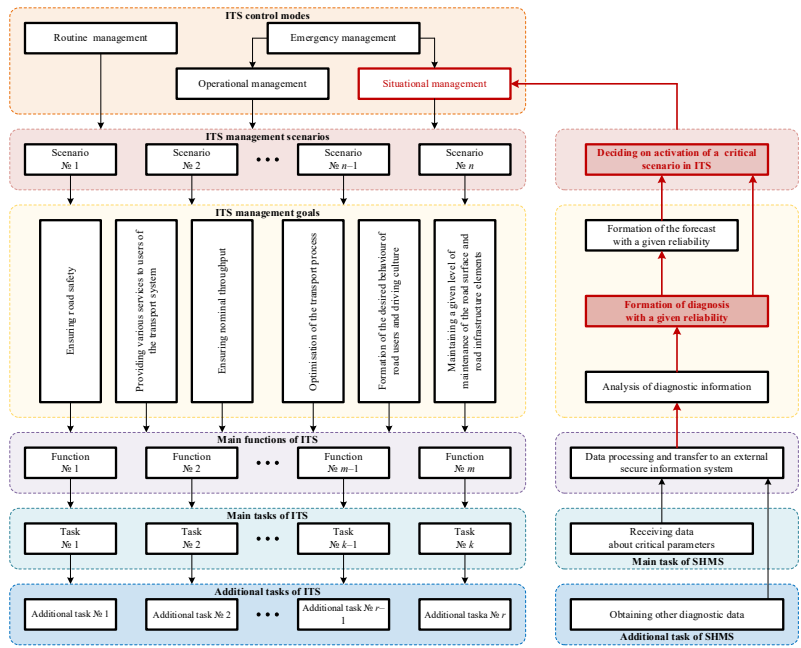
Let us note that monitoring systems do not cover all highway infrastructure facilities, but

only some of them, as shown in Pic. 1 by a solid arrow; dotted arrows indicate objects that may not necessarily be equipped with stationary monitoring equipment. Data interoperability is carried out through an «add-on» – a secure platform for analysing monitoring results. Thus, ITS hardware elements actually include SHMS elements and the safe platform intended for analytics and decision-making on the activation of critical scenarios corresponding to the non-standard state of transport infrastructure objects.

Synthesis of Hardware for Data Interoperability of Monitoring and Control Systems

To synthesise hardware for data interoperability of monitoring and control systems, it is necessary to determine a set of states in which the system can be. Let us state the problem as follows. There are two main (generalised) modes of ITS operation: 1) operation when the monitored object is operational; 2) functioning when recording a dangerous state of the monitored object. It is required to synthesise a scenario switching device for road traffic control.





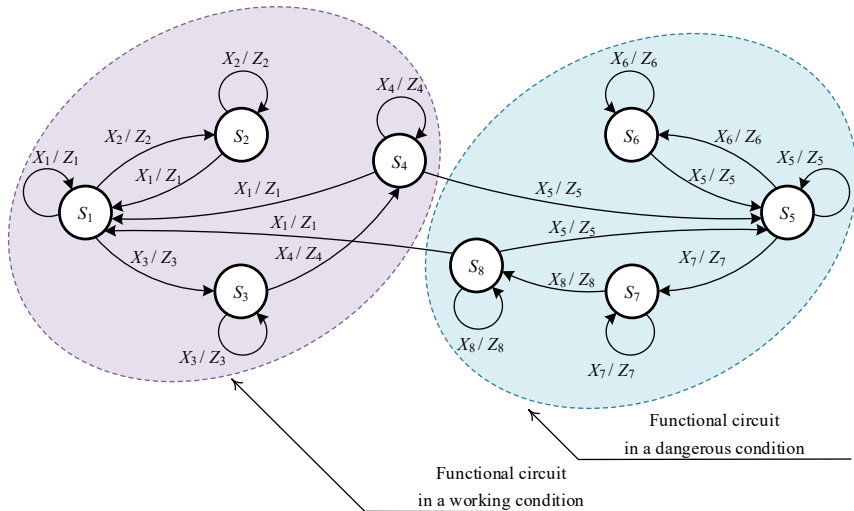
Pic. 2. Functional architecture [developed by the authors].

Let us use the mathematical model of a finite-state automation (finite-state machine) [16].

Pic. 3 shows the transition graph of the ITS finite-state machine, which has SHMS of some object (for example, of a bridge) as a subsystem. In the graph, each vertex corresponds to the state of the system, and the arcs indicate possible transitions between states. On the arcs, the values of the input vectors $\langle X \rangle = \langle x_1 x_2 \dots x_i \rangle$ and output vectors $\langle Z \rangle = \langle z_1 z_2 \dots z_m \rangle$ are signed separated by a slash. Moreover, in each specific state, the values of the digit of the input and output vectors are uniquely defined, therefore, on the arcs of the

input and output vectors, the indices of the states in which the arcs enter are labelled.

The initial state S_1 is the state in which the normal control mode is implemented, and the monitored object is in an operational state. The process of functioning in this mode continues, and in parallel with predetermined measurement periods τ_i , the SHMS collects data from the i -th number of diagnostic sensors (data acquisition periods are usually different). In other words, after a given period of time there is a transition to the S_2 state and back to the S_1 state. As data is accumulated, at specified time intervals τ_A ,



Pic. 3. ITS transition graph for two modes of operation of the monitored object [developed by the authors].

Table 1

Finite-state machine transition and output table

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
S_1	$(S_1), 0$	~	~	~	$S_3, 0$	~	~	~	$S_2, 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_2	$S_1, 0$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_3	~	~	$S_4, 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_4	$S_1, 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_5	~	$(S_5), 1$	~	~	~	$S_7, 1$	~	~	~	$S_6, 1$	~	~	~	~	~	~
S_6	~	$S_5, 1$	~	~	~	~	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~
S_7	~	~	$S_8, 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
S_8	$S_1, 0$	~	$(S_8), 1$	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Table 2

Minimised finite-state machine transition table

S	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
S_1, S_2, S_3, S_4	$(S_1), 0$	$S_5, 1$	$(S_4), 0$	~	$(S_3), 0$	~	~	~	$(S_2), 0$	~	~	~	~	~	~	~
S_5, S_6, S_7, S_8	$S_1, 0$	$(S_5), 1$	$(S_8), 1$	~	~	$(S_7), 1$	~	~	~	$(S_6), 1$	~	~	~	~	~	~

a comprehensive analysis is carried out with the shaping of a diagnosis, prognosis, calculation of reliability indicators, and assessment of the risks of road traffic safety violations. That is, a transition occurs from state S_1 to state S_2 , and then a control mode is selected – transition to state S_4 . The system is in this state for a short time. Exit from it is possible by moving to state S_1 , or to state S_5 – this is a state in which a critical state is recorded for the monitored object according to the SHMS data (for example, limitedly operable or completely inoperable). Let us call this condition «dangerous» for traffic. At this moment, an emergency situational control scenario is launched related to restraints on traffic through the monitored object. Diagnostics procedures are ongoing. The system within a given period transitions to state S_6 , and then back to S_5 . Then, as data accumulates, a comprehensive analysis is carried out – a transition from state S_1 to state S_7 . In this case, the period of complex analysis can be reduced $\tau_{A*} \leq \tau_A$. Next, the ITS operating mode is selected – transition to state S_8 . Similar to the S_4 state, the control mode is selected and the transition to the S_5 state or to the S_1 state is carried out. The system itself records this. But in the physical part, the maintenance personnel perform the necessary procedures for checking the

technical condition of the monitored object and maintenance work, after which the ITS, having made sure that there is no danger, launches a safe operation scenario when the monitored object is operational. The data interoperability algorithm is presented in Pic. 4.

Pic. 5 shows one of the options for encoding input and output vectors: x_1 – enabling measurement, x_2 – enabling analysis, x_3 – selecting control mode, x_4 – activating control mode, z – signalling about the used control mode.

Using the well-known technique for synthesising a finite-state machine [16], we implement a digital device that operates according to the mathematical model presented in Pic. 5. To do this, we will compile a table of transitions and outputs of the finite-state machine (Table 1). Then we minimise and encode the transition table (Tables 2 and 3).

After encoding the table of transitions and outputs, we will calculate the values of the functions for switching on memory elements. We use an implementation based on standard RS flip-flops, the operating logic of which is given in Table 4 [16].

In Table 4, the previous moment in time is designated as $t - 1$, and the current moment is designated as t .



Table 3

Encoded finite-state machine transition table

y	$x_1 x_2 x_3 x_4$															
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	(0), 0	1, 1	(0), 0	~	(0), 0	~	~	~	(0), 0	~	~	~	~	~	~	~
1	0, 0	(1), 1	(1), 1	~	~	(1), 1	~	~	~	(1), 1	~	~	~	~	~	~

Table 4

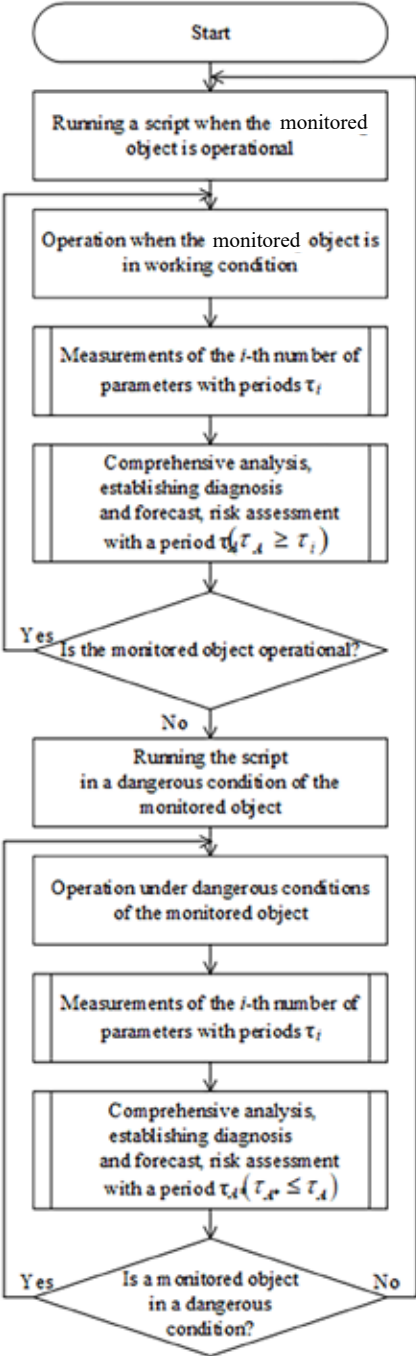
Table for determining values of functions Y_S, Y_R

$y(t-1)$	$y(t)$	
	0	1
0	0~	10
1	01	~0

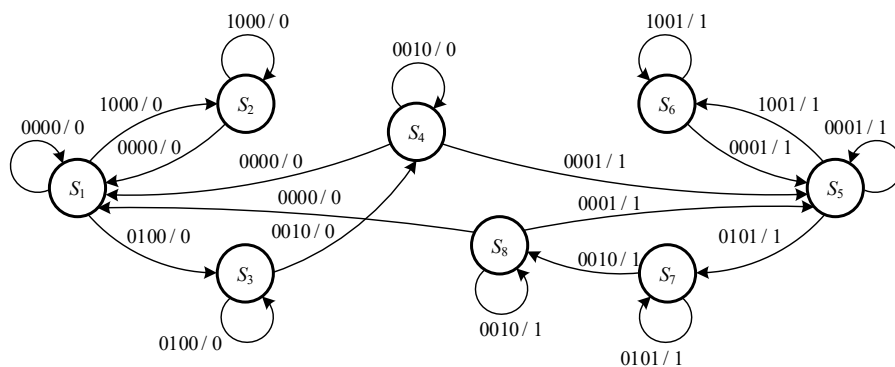
Table 5

Truth table of switching functions of Y_S and Y_R flip-flops

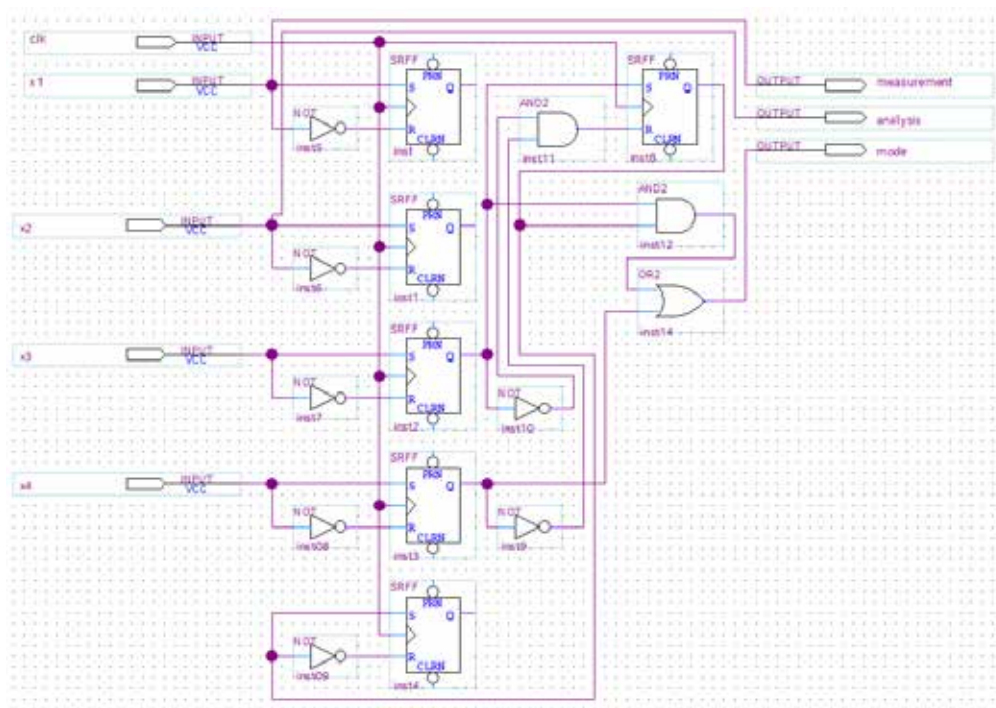
№	$x_1 x_2 x_3 x_4 y$	Y_{S1}	Y_{R1}	z
0	00000	0	~	0
1	00001	0	1	0
2	00010	1	0	1
3	00011	~	0	1
4	00100	0	~	0
5	00101	~	0	1
6	00110	~	~	~
7	00111	~	~	~
8	01000	0	~	0
9	01001	~	~	~
10	01010	~	~	~
11	01011	~	0	1
12	01100	~	~	~
13	01101	~	~	~
14	01110	~	~	~
15	01111	~	~	~
16	10000	0	~	0
17	10001	~	~	~
18	10010	~	~	~
19	10011	~	0	1
20	10100	~	~	~
21	10101	~	~	~
22	10110	~	~	~
23	10111	~	~	~
24	11000	~	~	~
25	11001	~	~	~
26	11010	~	~	~
27	11011	~	~	~
28	11100	~	~	~
29	11101	~	~	~
30	11110	~	~	~
31	11111	~	~	~



Pic. 4. Algorithm for data interoperability of SHMS and ITS [developed by the authors].



Pic. 5. Encoded ITS transition graph for two modes of operation of the monitored object [developed by the authors].



Pic. 6. Finite-state machine using RS flip-flops [developed by the authors].

Using the rules outlined in Table 4, let us create a table of the values of Y_S and Y_R RS flip-flop inputs for all input combinations. We will enter the data into Table 5.

Let us write down and minimise the functions from the truth table:

$$Y_{S1} = x_4;$$

$$Y_{R1} = \overline{x_3 x_4};$$

$$z = x_4 \vee x_3 y.$$

According to these formulas in Pic. 6, a finite-state machine is implemented in the Quartus environment [17]. After minimisation, it has the form shown in Pic. 7.

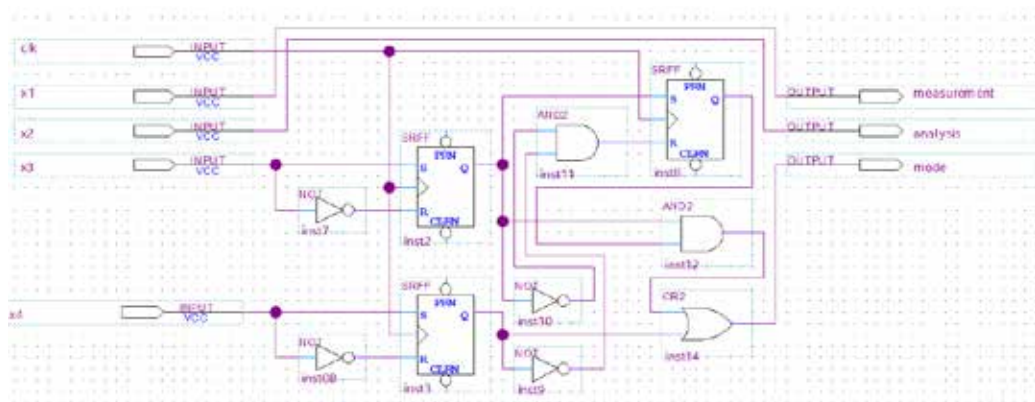
Pic. 8 shows a time diagram of the operation of the synthesised finite-state machine in the

mode of running states along the following chain: $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_6 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_5 \rightarrow S_7 \rightarrow S_8 \rightarrow S_1$.

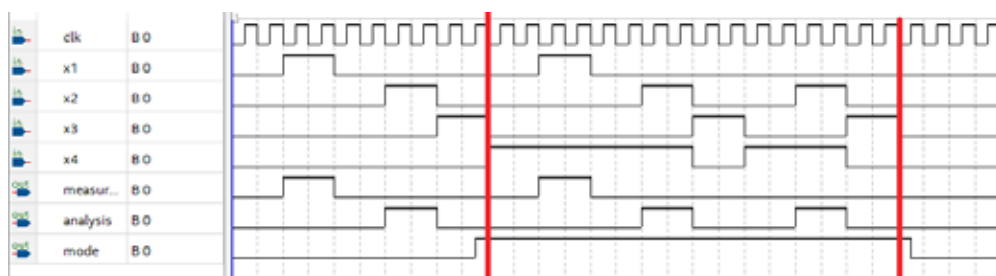
The following designations are used in the diagram: clk – synchronising pulse, $x_1 - x_4$ – circuit inputs, «measurement», «analysis», «mode» outputs – measurement, analysis and control mode, respectively.

Each state corresponds to 2 clock cycles of the synchronising pulse. The «Mode» output is shifted by half a pulse due to the logic of the flip-flops in the circuit. The shift depends on the length of the synchronising pulse, the parameters of which can be configured individually for a specific type of flip-flop (a fraction of a second). The vertical bold [red] stripes on the diagram





Pic. 7. Minimised finite-state machine using RS flip-flops [developed by the authors].



Pic. 8. Time diagram of the finite-state machine operation [developed by the authors].

mark the boundaries of transition from one mode to another.

The finite-state machine itself was synthesised for the experiment on a programmable logic integrated circuit MAX II EPM240T100C4 class CPLD (Complex Programmable Logic Device) [18]. The authors have already repeatedly used this scheme to implement digital control devices and experiments [19]. It contains 240 logic elements (LE), 192 macro elements and a maximum of 80 user I/O. The synthesised device required 3 logic gates (about 1 % of the total) and 8 user pins (10 % of the total). It is to note that the above example of implementation of data interoperability of SHMS and ITS was implemented with RS flip-flops in circuits with programmable logic. When developing a device, one can apply other memory elements, any other element base. Finite-state machine can be developed as a software as well.

CONCLUSION

Data interoperability of SHMS and ITS in terms of automatically launching scenarios when the dangerous state of a monitored object is detected will significantly improve road traffic safety. The results presented in this article on construction of a mathematical

model of the device for data interoperability systems and an example of hardware implementation can be used in practice when implementing tightly integrated SHMS and ITS. This, in turn, makes it possible to manage the reliability and safety of the transportation process by minimising the failure rates of technical equipment [20].

Let us, however, pay attention to the still unsolved problem of ensuring diagnosis (and subsequent prognosis) with high, predetermined reliability. In addition, the road industry has still not solved the problem of developing technical requirements for secure data analytics platforms and automated monitoring systems included in the feedback chains of control systems. The solution to these and related problems, apparently, belongs to the prospects of the near future.

The development of ITS on the roads of the Russian Federation is a strategically and economically important area of activity for the scientific and engineering communities, bringing us closer to an absolutely safe transportation process.

REFERENCES

1. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.

2. AI-Centric Smart City Ecosystems: Technologies, Design and Implementation. Edited by A. Khang, S. Rani, A. K. Sivaraman, CRC Press, Boca Raton, USA, 2022, 304 p. DOI: 10.1201/9781003252542.
3. Zhankaziev, S. V. Intelligent transport systems [Intellektualnie transportnie sistemy]. Moscow, MADI publ., 2016, 120 p. [Electronic resource]: <https://lib.madi.ru/fel/fell/fel16E377.pdf>. Last accessed 24.05.2023.
4. Evstigneev, I. A. Fundamentals of creating intelligent transport systems in Russian urban agglomerations [Osnovy sozdaniya intellektualnykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh Rossii]. St.Petersburg, «Pero» publ., 2021, 294 p. ISBN 978-5-00189-482-7.
5. Chiara, B. D., Bifulco, G. N., Fusco, G., Barabino, B., Corona, G., Rossi, R., Studer, L. [et al]. «ITS» nei trasporti stradali: tecnologie, metodi ed applicazioni [Edition in Russian: ITS in road transport. Technologies, methods and practice of application (ITS na avtomobilnom transporte. Tekhnologii, metody i praktika primeneniya)]. Moscow, LLC «Printing Paradise», 2014, 532 p.
6. Posokhov, N. N., Sosunov, I. V. Structured system for monitoring and managing engineering systems of buildings and structures – what is it? [Strukturirovannaya Sistema monitoringa i upravleniya inzhenernymi sistemami zdaniy i sooruzheniy (SMIS) – chto eto takoe?]. Monitoring: science and safety, 2011, Iss.1, pp. 12–17. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16372979>. Last accessed 15.07.2023.
7. Andersen, J., Vesterinen, A. Structural Health Monitoring Systems. – Denmark, COWI A/S, 2006, 125 p. [Electronic resource]: <https://shms.dk/COWI-ISBN-87-91044-04-9.pdf>. Last accessed 15.07.2023.
8. Belyi, A., Shestovitskii, D., Myachin, V., Sedykh, D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity. In: Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13–16, 2019, pp. 201–206. DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.
9. Sun, D. L., Shang, Z., Xia, Y., Bhowmick, S., Nagarajaiah, S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection. *Journal of Structural Engineering*, 2020, Vol. 146, Iss. 5, 04020073. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.
10. Myachin, V. N., Efanov, D. V., Osadchy, G. V. Monitoring systems of the Crimean Bridge. *Roads of the Commonwealth of Independent States*, 2022, Iss.5 (100), pp. 79–81.
11. Myachin, V. N., Efanov, D. V., Osadchy, G. V., Zueva, M. V., Vatgama, H. N. Technology for the monitoring results analysis when operating the bridge crossing to Russky island across the Eastern Bosphorus Strait in Vladivostok. *Dorogi i mosty*, 2023, Iss. 1 (49), pp. 177–195. [Electronic resource]: <https://rosdornii.ru/upload/iblock/4d6/p8vw5ls71fqjb6fwkcsh884nfd4yh1q3/10.-Myachin-Tekhnologiya-analiza-rezultatov-monitoringa.pdf?ysclid=lmrjtgc574523570255>. Last accessed 01.06.2023.
12. Aganov, I. A., Osadchy, G. V., Efanov, D. V., Miroshinchenko, O. V., Kubrak, V. Yu. Monitoring system for engineering structures on the Purovsky Bridge [Sistema monitoringa inzhenernykh konstruktssii na Purovskom mostu]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2021, Iss. 5–6 (96–97), pp. 47–51. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47467323>. Last accessed 01.06.2023.
13. Efanov, D., Osadchy, G., Aganov, I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring. In: Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Cracow, Poland, September 22–25, Vol. 1, pp. 391–396. DOI: 10.1109/IDAACS3288.2021.9660985.
14. Russian Railways: a bridge with the first innovative system of continuous monitoring and connection to the control of protecting signal [RZD: most s pervoi innovatsionnoi sistemoi nepreryvnogo monitoringa i podklyucheniem k upravleniyu zagradytelnykh signalom]. *Bridge structures. XXI Century*, 2021, Iss. 4 (51), pp. 18–19.
15. Efanov, D.V., Khoroshev, V.V., Osadchy, G. V. Conceptual Foundations of the Synthesis of Safe Train Traffic Control Systems. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
16. Sapozhnikov, V.V., Sapozhnikov, V.I., Efanov, D. V. Fundamentals of reliability theory and technical diagnostics [Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoi diagnostiki]. St.Petersburg, Lan publ., 2019, 588 p. ISBN 978-5-8114-3453-4.
17. Akchurin, A. D., Yusupov, K. M., Kolchev, A. A. Basics of working in the Quartus II environment [Osnovy raboty v srede Quartus II]. Kazan, KFU publ., 2017, 49 p. [Electronic resource]: <https://pdfslide.net/documents/quartus-ii-.html?page=1>. Last accessed 24.05.2023.
18. MAX II Device Handbook, Vol. 1, Altera Corporation, 2006, 102 p. [Electronic resource]: <https://www.farnell.com/datasheets/8698.pdf>. Last accessed 24.05.2023.
19. Efanov, D. V., Pashukov, A. V. Synthesis of railway switch control devices with fault detection and self-diagnosis functions on programmable logic integrated circuits [Sintez ustroystv upravleniya zheleznodorozhnyimi strelkami s obnaruzheniem neispravnostei i funktsiyami samodiagnostirovaniya na programmiruemykh logicheskikh integralnykh skhemakh]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2023, Iss. 1, pp. 82–89. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50475884&ysclid=lmhs0q5hzm23438654>. Last accessed 24.05.2023.
20. Efanov, D. V., Mikhailyuta, E. M. Management of Reliability and Safety of the Transportation Process Using Systems for Continuous Monitoring of Railway Infrastructure Facilities. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 2 (105), pp. 84–94. EDN: NKTSHU. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-10>. ●

Information about the authors:

Efanov, Dmitry V., D.Sc. (Eng), Professor, full member of the International Academy of Transport, member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers; Professor at the Higher School of Transport of the Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia; Deputy General Director for Research of the Research and Design Institute for Transport and Construction Safety (LLC RDI TransStroybezopasnost), St. Petersburg, Russia; Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communications of Russian University of Transport, Moscow, Russia; Professor at the department of Automation and Remote Control of Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan, TrES-4b@yandex.ru.

Mikhailyuta, Evgeny M., Ph.D. student at Higher School of Transport of the Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, evgeniy mixa@gmail.com.

Pashukov, Artem V., Senior Lecturer at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communications of Russian University of Transport, Moscow, Russia, art_pash@mail.ru.

Article received 13.06.2023, approved 07.09.2023, accepted 15.11.2023.





Sustainability Criteria for a Piggyback System



Alexander V. TSYGANOV



Nikita A. OSINTSEV



Alexander N. RAKHMANGULOV



Andrey A. ZENKIN

Alexander V. Tsyganov¹, Nikita A. Osintsev², Alexander N. Rakhmangulov³, Andrey A. Zenkin⁴

^{1, 2, 3} *Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, Russia.*

⁴ *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉ ¹ *tsyganov.alek@gmail.com*

✉ ³ *ran@magtu.ru*

² *ORCID 0000-0003-1168-6725.*

³ *ORCID 0000-0002-6419-2561; Scopus ID: 13805427400; Russian Science Citation Index Author ID: 101054.*

⁴ *ORCID 0000-0001-9989-2907; Russian Science Citation Index SPIN-code: 2147-5926.*

ABSTRACT

Achieving the goals of the sustainable development concept stimulates the use of multimodal systems and intermodal cargo delivery technologies in supply chains. The configuration of the network structure of supply chains in this case becomes more complex following the increase in the number of participants and the diversity of technical and technological parameters of transport systems. The authors have analysed the problems of using piggyback technology as part of supply chains.

The objective of this study is to establish a set of universal characteristics of piggyback systems that determine their sustainability in supply chains. The study used a systems approach to present piggyback technology as to a complex technical system, the main elements of which are intermodal transport units, railway

rolling stock and terminals connected by the technology and organisation of piggyback transportation. A developed original system of criteria for choosing a piggyback system considers the current trend in development of transport systems and supply chains from the perspective of their sustainable development.

It is shown that the decision to use piggyback systems as part of sustainable supply chains must be made based on a multi-criteria assessment of the parameters of all elements and relationships within these systems. The system of criteria developed by the authors allows adequate evaluating piggyback systems, coordinate their engineering and technological parameters, and also justify decisions on unification of intermodal transport units.

Keywords: multimodal transportation, combined transportation, intermodal transportation, piggyback system, supply chain, sustainable development.

Financial support: the study was supported by a grant of the Russian Science Foundation № 23–21–00164, <https://rscf.ru/project/23–11–00164/>.

For citation: Tsyganov, A. V., Osintsev, N. A., Rakhmangulov, A. N., Zenkin, A. A. Sustainability Criteria for a Piggyback System. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 282–290. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-14>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Evolution of environmentally friendly transport systems is focused inter alia on development of multimodal cargo delivery systems based on the integrated interaction of various modes of mainline transport [1; 2]. Multimodal technology has as one of its types a piggyback (or contrailer) technology, which uses railway and road transport on an integrated basis [3]. The implementation of this technology involves placing cargo in an intermodal transport unit (ITU), capable to be transported by the specified modes of transport within the entire multimodal delivery system.

Within the global transport system, regular transportation of goods using piggyback technology began to be performed in the second half of the 20th century. Strong competition in design and technological solutions in the transport industry has contributed to the emergence of various piggyback technology options with significant differences in engineering solutions. These options are currently being developed as stand-alone piggyback systems. The most common options for piggyback systems that use the horizontal method of loading and unloading items are Rolling Road, Lohr, CargoBeamer, etc. These systems compete both with each other and with Lift-on/Lift-off, Lo-Lo systems, which use vertical method of reloading ITU onto railway rolling stock [4].

The results of an analysis of the prevalence of piggyback systems in the world and the degree of their use in supply chains [5] suggest that this intermodal technology is still at the development stage. Analysis of the parameters of known piggyback systems indicates the diversity of engineering and technological solutions used in them and the lack of common standards [6; 7]. Besides, each piggyback system, as a rule, is characterised by a certain national attributes and degree of prevalence in the world. This diversity of engineering and technological parameters of piggyback systems has as consequence the constraints in the selection of ITU and conditions of their transportation that should meet the requirements of a specific piggyback system. This, in turn, imposes certain restrictions on the range of goods transported. Thus, the variety of piggyback systems and the presence of many non-standardised parameters reduces the multiplier effect of the integration and combined use of various modes of transport in multimodal delivery systems, and also complicates construction and operation of supply chains using piggyback technology.

These limitations are especially evident in formation of global supply chains, the links of which are located in regions where different piggyback systems are used. The task arises of configuring the optimal network structure of the supply chain. This task becomes more complex due to the use of different piggyback systems in different regions (countries) and the increase in possible supply chain options. In solving this problem, carriers, forwarders, or logistics managers must consider the engineering and technological requirements and constraints of various piggyback systems to meet the requirements of cargo owners for timely, safe and environmentally friendly transportation of certain goods. Due to the variety of piggyback systems, cargo owners are forced to either take into account the requirements of a specific system for ITU parameters or abandon the intermodal technology necessary for them [8]. Thus, determining criteria for stability of a piggyback system based on systematisation of the parameters of existing piggyback systems to form sustainable supply chains is an urgent scientific and practical task.

Currently, in the Russian-language scientific literature, the concept of «*stability*» [in general terms], in relation to complex systems, is used to denote the properties of such systems operating under different conditions. Traditionally, *stability* means the ability of a system to maintain its key functions in conditions of uncertainty, failures, and changes [9; 10]. In English-language literature, this property is designated by the term «*resilience*». This term in most cases is applicable to technical systems for which it is possible with sufficient accuracy to both predict external influences and describe the patterns of their behaviour in various situations. However, supply chains operate under conditions of significantly greater uncertainty in the external economic (market factor), natural and climatic (ecological factor), and social environment (geopolitical factor). Complex systems in such conditions must not only maintain their key functions, but also develop, providing the necessary stability for the future. The stability of complex systems exposed to the natural, social and economic environments is usually referred to in the English-language scientific literature by another term – «*sustainability*»¹. This property is associated with

¹ GOST R [Russian State standard] ISO 28002–2019 Security management systems for the supply chain. Resilience of the supply chain. Requirements with guidance for use. Moscow, Standartinform publ., 2020, 53 p.



the concept of «*sustainable development*»² and the presence of this property is a necessary condition for achieving the goals of this concept.

In this study, supply chain *sustainability* refers to the state of supply chains in which sustainable development goals are achieved. This is ensured by developing and maintaining a balance of social, environmental, and economic indicators [11]. This approach, in our opinion, is applicable to both sustainable supply chains, green supply chains, reverse supply chains, and closed loop supply chains.

RESULTS

Systematisation of Parameters of Piggyback Systems and Identification of Criteria for their Stability

The authors of the work used *a systems approach* to consider piggyback technology as a complex system formed by the following structural elements: an intermodal transport unit, railway rolling stock and a terminal. Each of the elements under consideration is characterised by a set of parameters that determine the technology and organisation of piggyback transportation.

The systematisation and structuring of the parameters of piggyback technology elements was carried out through the analysis of seven most common piggyback systems that are at different stages of development, testing and commercial use: Lohr, CargoBeamer, CargoSpeed, Rolling Road, «Space 1520», Megaswing and Flexiwaggon. The collection of data for analysis was carried out based on information from the official websites of companies producing piggyback systems^{3, 4, 5, 6, 7}, websites of companies producing railway

rolling stock^{8, 9, 10, 11}, regulatory documents^{12, 13}, as well as scientific literature [12–19]. Analysis of the parameters of piggyback systems allows them to be divided into three groups:

- Systems represented by specialised terminals, based on the modular principle of creating terminal infrastructure, using structurally complex specialised railway rolling stock. The authors include the Lohr, CargoBeamer and CargoSpeed systems in this group.

- Systems located at railway stations with separate cargo loading facilities for piggyback operations. In such systems, the least complex railway cars (piggyback platforms) are used. Systems in this group include Rolling Road and «Space 1520».

- Systems that do not require creation of terminal infrastructure and use highly specialised high-tech railway cars. The systems in this group are Megaswing and Flexiwaggon.

Analysis of engineering and technological features, as well as the theory and practices of using these piggyback systems, allowed us to draw the following preliminary conclusions.

Firstly, available sources of information contain contradictory and fragmented descriptions of the characteristics and parameters of piggyback systems, which reduces reliability of data and complicates assessment and selection of these systems. The piggyback systems that currently have the widest geographical spread are described in detail. Developers of such systems are interested in their further promotion, attracting new clients and investments, and entering new markets. On the contrary, systems that are in the early stages of their life cycle are poorly represented both on the Internet and in scientific

² GOST R [Russian State standard] ISO/IEC 15288–2005 Information technology. System engineering. System life cycle processes. Moscow, Publishing house FSUE Standartinform, 2006, 57 p.

³ The Lohr. [Electronic resource]: <https://lohr.fr/>. Last accessed 01.06.2023.

⁴ CargoBeamer. [Electronic resource]: <https://www.cargobeamer.com/>. Last accessed 01.06.2023.

⁵ CARGOSPEED. [Electronic resource]: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20060727_143123_02411_CARGOSPEED_Final_Report.pdf. Last accessed 01.06.2023.

⁶ SweMaint. [Electronic resource]: <https://www.swemaint.se/en>. Last accessed 01.06.2023.

⁷ Flexiwaggon. [Electronic resource]: <https://www.flexiwaggon.se/>. Last accessed 01.06.2023.

⁸ Flat car model 13–9938. [Electronic resource]: <https://inni.info/produkt/gruzovyve-vagony-sleduyushchikh-tipov-vagon-platforma-vagon-platforma-modeli-13-9938>. Last accessed 01.06.2023.

⁹ Flat car model 13–5205. [Electronic resource]: <https://infomach.ru/vagon-platforma-modeli-13-5205>. Last accessed 01.06.2023.

¹⁰ Flat car model VR Sdgnqss-w. [Electronic resource]: http://xn--clakhbnbahv.xn--p1ai/?page_id=289. Last accessed 01.06.2023.

¹¹ Platform model 13–9961 is suitable for piggyback trailers. [Electronic resource]: <http://xn-1520-u4d3ahgsb9pe.xn--p1ai/new/6593/>. Last accessed 01.06.2023.

¹² The concept of organising piggyback transportation in the «1520 space». Moscow, RZD publ., 2011, 149 p.

¹³ Regulations for loading and securing road trains, cars, semi-trailers and trailers, tractors on specialised platforms of model 13–9961. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=909>. Last accessed 01.06.2023.

publications. This reduces interest in them and prevents their further development.

Secondly, researchers most often limit themselves to analysing the engineering and technological parameters of piggyback systems. There is virtually no analysis of social and environmental parameters reflecting the current priorities of transport policy in developed countries. These systems are poorly represented in the ESG (Environmental, Social, and Corporate Governance) ranking, which evaluates the environmental, social, and economic areas of key business decisions.

Thirdly, we were unable to find studies in which piggyback technology is considered as a complex engineering system and where modern methods and tools of system analysis are used. The result is either a one-sided consideration or an incorrect comparison of quantitative, qualitative, and subjective parameters characterising this technology.

Finally, the given parameters of piggyback technology do not account for the interests and strategies of various actors in transport and logistics processes: cargo owners, logistics service providers and transport infrastructure owners. Moreover, each of the listed stakeholders is guided by the parameters that he identifies as priorities when choosing a particular piggyback system.

The listed factors, on the one hand, complicate the choice of piggyback systems, and on the other, determine the need to use multi-criteria methods for assessing systems that consider the diversity of both the interests of stakeholders and the parameters of these systems.

The authors propose to be guided by the following general principles for determining the sustainability criteria of a piggyback system:

- Multiple engineering, technological and economic parameters of piggyback technology elements are considered as subcriteria for choosing a system and are combined into groups of criteria.

- Isolated values of criteria are represented by precise quantitative values, and qualitative values of criteria are unified by presenting them through a common and unambiguously understood rank scale. A four-level ranking of quality subcriteria is used through the terms: «Very High», «High», «Medium», «Low».

The subcriteria of the engineering group include the most significant technical parameters that characterise piggyback systems from the perspective of transport and cargo units that perform the function of «territorial» movement of goods in supply chains. The subcriteria included in this group are used to evaluate railway rolling stock and road vehicles, acting in piggyback transportation as ITU (Table 1).

According to the authors of the work, two stakeholders have a predominant interest in the subcriteria of this group: «Logistics service provider» – the owner of the rolling stock, engaged in formation and management of the fleet and «Owner of the transport infrastructure» – who determines the parameters of the piggyback terminal in terms of their compliance with the parameters of cargo flow and the flow of rolling stock passing through the terminal.

Considering a significant number of engineering parameters of railway rolling stock, the authors limited themselves to only one subcriterion – «Useful length of the railway car», characterising the capacity of the car in relation to the transported cargo – ITU. Increasing the useful length of a car's cargo area increases its carrying capacity and versatility, influencing the ITU parameters.

The subcriteria «Number of types of ITU» and «Maximum weight of ITU» determine the functionality of piggyback systems, creating, first, for the «Provider» a variety of options for transporting ITU (or vice versa, limiting options), as well as determining the size of the cargo lot.

The technological group of subcriteria combines parameters that characterise piggyback systems from the point of view of organising loading and unloading of items onto railway cars (Table 2). According to the authors of the work, the predominant interest in the subcriteria of this group should be from behalf of the «Logistics Service Provider» stakeholder, whose functional responsibilities include organising transportation on a «door-to-door» basis.

The subcriterion «Maximum capacity of a train» allows determining the size of a cargo lot for a full train and estimate the costs of its accumulation and transportation. Since piggyback systems are characterised by a variety of transported types of ITU, this



Table 1

**Values of engineering subcriteria for piggyback system sustainability
[compiled by the authors]**

Subcriteria	Lohr	CargoBeamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexiwaggon
Useful length of the car, m	27.4	14.2	16.3	18.2	20.3	29.4	17.3
Number of types of ITU	5 (semi-trailer, tractor, truck, swap body, container)	4 (semi-trailer, trailer, tractor, container)	1 (semi-trailer)	3 (road train, tractor, cargo car)	7 (road train, semi-trailer, trailer, tractor unit, truck, swap body, container)	2 (semi-trailer, container)	3 (road train, truck, container)
Maximum weight of ITU, t	38	37	38.5	38	44	38	52
Maximum length of ITU, m	13.7	14.2	13.6	20	20	14.7	17.3

subcriterion is quantitatively expressed through the most common type of ITU for piggyback transportation – a semi-trailer.

The subcriterion «Flexibility of transshipment of ITU equipment outside the terminal» evaluates the capabilities of the piggyback system by the number of loaded and unloaded cars in the train. The authors believe that the greatest flexibility is provided by systems that allow the transshipment of any number of ITU on a train, including in places that do not require special terminal equipment. Systems focused on reloading only the entire train at the terminal, due to technological limitations or the economic disadvantage of reloading a small number of ITU, have less flexibility (mobility).

The subcriterion «Duration of loading/unloading of a train of maximum length» allows one to assess the level of technological sophistication of a particular piggyback system, and also characterises the parallelism of loading/unloading of items into cars. The quantitative values of the subcriterion indicate the minimum time for loading and unloading a full train at the most technically equipped terminal for each piggyback system.

The subcriterion «Difficulty of manoeuvring a vehicle tractor» determines the sequence of movements of the tractor when loading/unloading items into a railway car. In general, the movement of the tractor can be performed in reverse or forward, but for different piggyback systems a unique combination of

movement is formed. This determines the time of transshipment, its complexity, as well as the safety of this cargo operation and the admission of the persons carrying it out. The authors proceed from the position that the safest option for loading and unloading ITU is to move the tractor forward, and the least safe option is to move the tractor forward/reverse.

The infrastructure subcriteria of assessment are formed by parameters characterising piggyback systems from the perspective of the conditions for the creation and use of a terminal that performs the function of technological interaction between the modes of transport involved in piggyback transportation (Table 3). The subcriteria included in this group are of interest to the «Infrastructure Owner» stakeholder, who is an investor and solves the problem of choosing an investment object, as well as the «Logistics Service Provider» stakeholder, who models the design of the supply chain, the choice of transport technology and determines the inclusion of piggyback technology as a link in the chain.

The subcriterion «Terminal Adaptability» assesses the need to create a specialised terminal, the modularity of its construction and the degree of its technical sophistication. The authors believe that when drawing up business plans and assessing project investment risks, systems that require lower capital costs and allow for the staged creation and development of terminal infrastructure are preferable.

Table 2

Values of technological subcriteria for the sustainability of a piggyback system [compiled by the authors]

Subcriteria	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexi waggon
Maximum capacity of a train (in semi-trailers)	48	36	30	40	48	44	22
Flexibility of transshipment of ITU equipment outside the terminal	Medium	Medium	Medium	Low	Low	High	Very high
Duration of loading/unloading of a train, min.	90	20	30	100	60	30	15
Difficulty of manoeuvring a vehicle tractor	Very high (Reverse/Forward movement)	Medium (Forward/reverse movement)	Medium (Forward/reverse movement)	Low (Forward movement)	High (Reverse/forward movement)	Very high (Reverse/Forward movement)	Low (Forward movement)

Table 3

Values of infrastructure subcriteria for piggyback system sustainability [compiled by the authors]

Subcriteria	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexi waggon
Terminal adaptability	Medium	Medium	Medium	Low	Low	High	Very high
Need for precise positioning of the cars	Very high (< 20–30 cm)	Very high (< 20–30 cm)	High (< 35 cm)	Medium (< 1 m)	Medium (< 1 m)	Low (> 1 m)	Low (> 1 m)
Prevalence of the piggyback system	Very high	High	Low	Very high	Low	Medium	Medium

The subcriterion «The need for precise positioning of railway cars» determines the level of design and technological preparation of the terminal and indirectly affects the cost of creating infrastructure.

The subcriterion «Prevalence of the piggyback system» evaluates the territorial representation of the piggyback system. For the «Infrastructure Owner» stakeholder, this subcriterion forms an understanding of how well a particular system has been implemented and which is the result of its operation. For «Logistics Service Provider», this subcriterion

is important from the perspective of using different systems in the design of global supply chains, the links of which are located in regions with different piggyback systems.

The subcriteria of the economic group are formed by parameters characterising piggyback systems from the perspective of capital and operating costs for the use of piggyback technology (Table 4). The predominant interest in the subcriteria of this group, according to the authors, should arise from the stakeholders «Logistics Service Provider» and «Infrastructure Owner», since

Table 4

Values of economic subcriteria for piggyback system sustainability [compiled by the authors]

Subcriteria	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexi waggon
Total costs per car	Very high	Very high	Medium	Medium	Low	High	High
Cost of servicing ITU at the terminal	Very high	Very high	High	Medium	Low	Medium	Low
Investment in construction of the terminal	High	High	High	Low	Very high	Medium	Low
Operating expenses of the terminal	High	Very high	High	Low	Medium	Low	Low



Table 5

Values of environmental subcriteria for piggyback system sustainability [compiled by the authors]

Subcriteria	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexi waggon
Alienation of land	High	High	High	Medium	Very high	Medium	Low
Infrastructure material intensity	High	High	High	Low	Very high	Medium	Low
Material intensity of railway rolling stock	High	High	Medium	Medium	Low	High	Very high

their tasks include searching for financial sources for formation of a fleet of specialised railway rolling stock and a network of piggyback terminals.

The authors highlighted separately the subcriteria «Investment in construction of terminal infrastructure» and «Operating expenses of the terminal», since the amount of capital costs is not always directly dependent on the amount of operating costs.

Also, for all stakeholders, an important subcriterion of this group is the «Cost of servicing ITU at the terminal», since the capital and operating costs of the system will ultimately form the transport fee for transporting ITU and interest in piggyback technology.

The environmental group of subcriteria includes parameters that characterise piggyback systems from the perspective of their impact on the biosphere (Table 5). The «Infrastructure Owner» stakeholder has an increased interest in the subcriteria of this group, since the state and environmental organisations impose obligations on him to reduce the polluting impact of transport on the environment.

The subcriterion «Alienation of land» determines the volume of territory subject to environmental requirements and indirectly affects the costs of its acquisition and maintenance. The subcriterion «Infrastructure material intensity» is used to assess the volume of material resources spent on the creation and operation of the piggyback system infrastructure. The authors did not combine these subcriteria. The scale of alienated land is not always comparable to the volume of materials for its development. There are systems that, despite the large areas of piggyback terminals, have a fairly low material consumption.

The authors also believe that the interests of the «Infrastructure Owner» stakeholder include the search for piggyback systems located in smaller areas, up to the complete absence of this need.

The subcriterion «Material intensity of railway rolling stock» characterises the amount of materials for the creation and operation of rolling stock within a piggyback system and is a priority for the «Logistics Service Provider» stakeholder. The material consumption of rolling stock significantly affects the cost of the car and the costs of its operation.

The subcriteria of the social group include parameters characterising piggyback systems from the perspective of the labour resources involved in their operation (Table 6). The authors believe that all stakeholders of piggyback technology will be interested in the subcriteria of this group.

For logistics service providers, the subcriterion «ITU support» will be important, since it determines the organisation of activity, forms the work and rest schedule of vehicle drivers, and affects personnel needs. For cargo owners, this subcriterion is important because it allows them to assess the performance and quality of transport services in terms of ensuring safety and timely delivery of cargo. The most preferred are piggyback systems that organise accompanied and unaccompanied transportation, and the least preferred are those in which ITU support is a prerequisite.

The subcriterion «Mechanisation and automation of labour» characterises piggyback systems from the perspective of their technological excellence and is important, first, to infrastructure owners. Since there is a direct connection between the technical level of production and the results of operations,

Table 6

Values of social subcriteria for piggyback system sustainability [compiled by the authors]

Subcriteria	Lohr	Cargo Beamer	CargoSpeed	Rolling Road	«1520 space»	Megaswing	Flexi waggon
ITU support	Low (Possibly)	Medium (Exclusively)	Medium (Exclusively)	.Very high (Mandatory)	Low (Possibly)	Medium (Exclusively)	High (Mandatory)
Mechanization and automation of labor	High	High	Medium	Medium	Low	High	Very high
Safety of system operation	High	Very high	Medium	Low	Medium	High	Very high

piggyback systems with a high level will be preferred.

The subcriterion «Safety of system operation» determines the state of security of the piggyback system from internal threats and applies to all stakeholders, since they are all interested in the safe use of piggyback technology in supply chains.

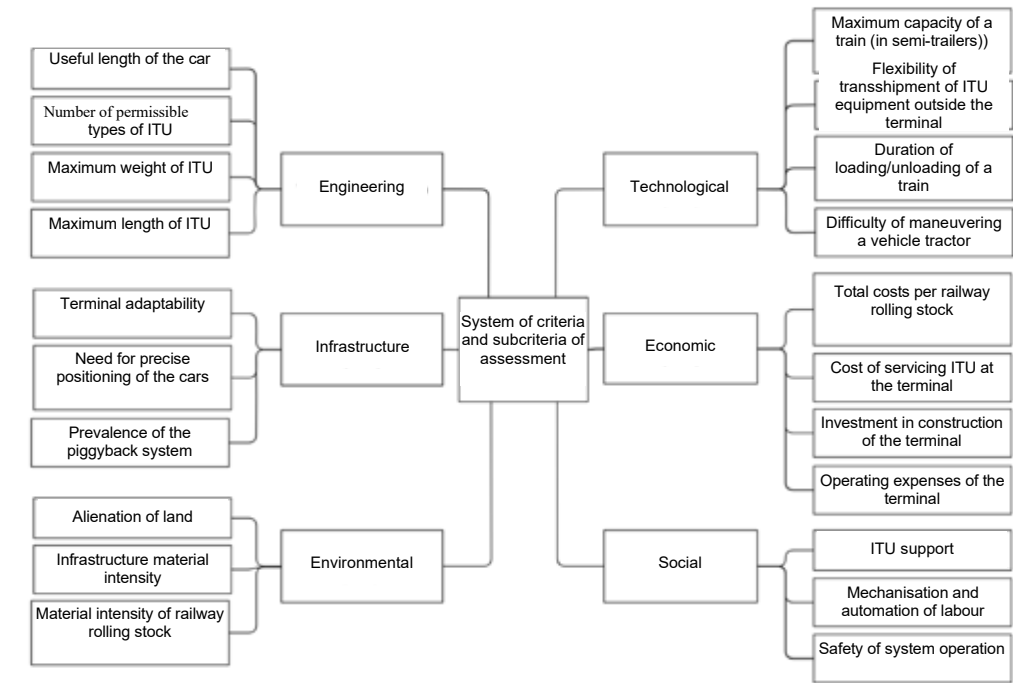
Using the principle of hierarchical display of criteria and subcriteria when grouping criteria, as well as considering the current trend in development of transport systems and supply chains from the perspective of their sustainable development, ensures the development of a universal system of criteria for piggyback system sustainability in supply chains (Pic. 1).

The presented criteria form a set of universal characteristics of any piggyback

system at the stage of development, testing or commercial operation. The criteria values can be used to individually evaluate the piggyback system when determining its sustainability in supply chains. The criteria also allow for comparisons of piggyback systems for the purpose of ranking them and selecting the best system using multi-criteria methods.

CONCLUSION

The effectiveness of using piggyback technology in sustainable supply chains is not constant and depends on the characteristics of the specific piggyback system. The variety of engineering and technological solutions for piggyback systems also limits their joint use in forming the network structure of global supply chains. The developed system of criteria allows



Pic. 1. Criteria and subcriteria of piggyback system stability [developed by the authors].



for a comprehensive assessment of piggyback systems when making decisions about their use in supply chains and can also be used to harmonise the engineering and technological parameters of piggyback systems.

Further research is associated with development of a methodology for multi-criteria assessment of piggyback systems, based on considering both the objective opinion of academic experts and the opinions of interested cargo owners, carriers and infrastructure owners. In addition, the authors set the task of identifying and analysing the goals, interests and behavioural strategies of participants in piggyback transportation to determine the system of their effective interaction.

REFERENCES

1. Gronalt, M., Schultze, R.-C., Posset, M. Intermodal Transport – Basics, Structure, and Planning Approaches. In: Sustainable Transportation and Smart Logistics: Decision-making Models and Solutions. Amsterdam, Elsevier, 2019, pp. 123–149. DOI: 10.1016/B978-0-12-814242-4.00005-3.
2. Stinga (Cristea), V.-G. Intermodal Transport – A Way of Achieving Sustainable Development. *Constanta Maritime University Annals*, 2014, Vol. 22, Iss. 2, pp. 145–148. [Electronic resource]: <https://cmu-edu.eu/RePEc/cmc/annals/145-v22.pdf>. Last accessed 24.06.2023.
3. Pinto, J. T. d. M., Mistage, O., Bilotta, P., Helters, E. Road-rail intermodal freight transport as a strategy for climate change mitigation. *Environmental Development*, 2018, Vol. 25, pp. 100–110. DOI: 10.1016/j.envdev.2017.07.005.
4. Cong Li, Guang Yang, Xiaonian Sun. Transshipment Equipments for Road-Rail Intermodal Transport. *Advanced Materials Research*, 2015, Vol. 1065–1069, pp. 3377–3380. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1065-1069.3377.
5. Osintsev, N., Tsyganov, A., Rakhmangulov, A., Sladkowski A. Multi-criteria Assessment of Piggyback Systems in Sustainable Supply Chains. In: Modern Trends and Research in Intermodal Transportation. Ed. A. Sladkowski. Cham, Springer International Publishing, 2022, Vol. 400, pp. 451–559. DOI: 10.1007/978-3-030-87120-8_10.
6. Gharehgozli, A., Vries, H. de, Decrauw, S. The role of standardisation in European intermodal transportation. *Maritime Business Review*, 2019, Vol. 4 (2), pp. 151–168. DOI: 10.1108/MABR-09-2018-0038.
7. Tsyganov, A. V., Osintsev, N. A. The system of rolling-stock's parameters of intermodal piggyback transportation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2020, Vol. 17, Iss. 2, pp. 262–272. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-2-262-272.
8. Rui Wang, Kai Yang, Lixing Yang, Ziyu Gao. Modeling and optimization of a road–rail intermodal transport system under uncertain information. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2018, Vol. 72, pp. 423–436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.04.022>.
9. Sergeev, V. I., Kolchugin, D. M. Theoretical aspects of supply chain sustainability. *Logistics and Supply Chain Management*, 2015, Iss. 3 (68), pp. 54–66. EDN: UAUAVN.
10. Rahman, T., Paul S. K., Shukla N. [et al]. Supply chain resilience initiatives and strategies: A systematic review. *Computers & Industrial Engineering*, 2022, Vol. 170, 108317. DOI: 10.1016/j.cie.2022. 108317.
11. Osintsev, N. A., Rakhmangulov, A. N. Supply Chain Sustainability Assessment Based on Gray Relational Analysis. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G. I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]*, 2023, Vol. 21, Iss. 3, pp. 180–196. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-180-196.
12. Troitskaya, N. A., Chubukov, A. B., Shilimov, M. V. Multimodal transportation systems and intermodal technologies [Multimodalnye sistemy transportirovki i intermodalnye tekhnologii]. Moscow, Publishing center «Academy», 2009, 336 p. ISBN 978-5-7695-4690-7.
13. Bontekoning, Y. M., Macharis, C, Trip, J. J. Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail-truck freight transport literature. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2004, Vol. 38, Iss. 1, pp. 1–34. DOI: 10.1016/j.tra.2003.06.001.
14. Monios, J., Bergqvist, R. Intermodal Freight Transport & Logistics. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017, 274 p. ISBN 978-1-4987-8512-9.
15. Pyza, D. Transport technologies in intermodal transport. *Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny*, 2019, Iss. 4. pp. 1–17. DOI: 10.35117/A_ENG_19_04_01.
16. Siroky, J. The trends of road trailers systems for railways. *Perner's Contacts*, 2012, Vol. 7, Iss. 4, pp. 137–151.
17. Kolik, A. V. Combined railway and road transportation in supply chains [Kombinirovannye zheleznodorozhno-avtomobilnye perevozki v tsepyakh postavok]. Moscow, Publishing house «Tekhpolygraphcenter», 2018, 301 p. ISBN 978-5-94385-143-8.
18. Fedorina, A. V., Tsyganov, A. V. An integrated approach to introduction of piggyback transportation in Russia [Kompleksniy podkhod k vnedreniyu konteinerovykh prevozok v Rossii]. *Modern problems of the Russian transport complex*, 2015, Vol. 5, Iss. 1, pp. 21–28. EDN: VPWEDJ.
19. Tadić, S., Krstić, M., Brnjac, N. Selection of efficient types of inland intermodal terminals. *Journal of Transport Geography*, 2019, Vol. 78, pp. 170–180. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.06.004.

Information about the authors:

Tsyganov, Alexander V., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Logistics and Transport Systems Management of Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, Russia, tsyganov.alek@gmail.com.

Osintsev, Nikita A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Logistics and Transport Systems Management of Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, Russia, osintsev@magtu.ru.

Rakhmangulov, Alexander N., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Logistics and Transport Systems Management of Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, Russia, ran@magtu.ru.

Zenkin, Andrey A., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Logistics and Transport Systems Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, zenkin1959@inbox.ru.

Article received 21.06.2023, approved 13.09.2023, accepted 17.09.2023.



Control of the Safety of Bulk Cargo by Determining the Unfilled Volume of the Gondola Car with Stereophotogrammetry



Maxim I. Malyshev

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia.*

✉ dicorus@mail.ru.

Maxim I. MALYSHEV

ABSTRACT

The process of developing integrated transport systems involves not only a radical change in the scale of the tasks being solved, but also the use of effective methods and tools.

The object of the study is the process of controlling safety of cargo transported in a gondola car. The subject of the study is the relief of the upper surface of the cargo and the unfilled space of the gondola car. The relevance of the study is due to the growing volumes of transportation and significant losses of bulk cargo during transportation, the development of information technology and the possibility of creating an affordable tool for monitoring the safety of transported goods.

The objective of the study is to describe an intelligent tool for monitoring the safety of goods transported by rail in gondola cars, and the process of its application in real time. The proposed control method requires for the transfer of operator functions to a digital assistant and the minimisation of the equipment necessary for monitoring. It is proposed to control the safety of bulk cargo by processing the image of a gondola car with cargo obtained from photo-video cameras with a convolutional neural network, and to calculate the volume of space unfilled with cargo using photogrammetry methods.

Keywords: railways, cargo safety control, unfilled volume of a gondola car, relief of the cargo surface, convolutional neural network, photogrammetry, stereophotogrammetry, digitalisation of railway transport, intelligent transport systems.

For citation: Malyshev, M. I. Control of the Safety of Bulk Cargo by Determining the Unfilled Volume of the Gondola Car with Stereophotogrammetry. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 291–297. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-15>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Railway transport ensures the uninterrupted operation of all sectors of the economy, transporting extracted minerals, equipment and products of industrial and manufacturing production.

For transportation of machinery and equipment, bulk and piecemeal, long and bulky, large-sized and other cargo that does not require protection from precipitation, universal gondola cars or specialised open wagons are used.

According to Rosstat [Federal State Statistics Service], the main types of cargo transported by rail in 2021 were coal (371 668,57 thousand tons or 29 % of the total volume of loading of main types of cargo), construction cargo (126 674,9 thousand tons or 10 % of the total volume), iron and manganese ore (119 983,0 thousand tons or 9 % of the total volume), as well as coke, non-ferrous metal ores, ferrous metal scrap and timber cargo¹.

Sand, crushed stone, alumina and other types of bulk cargo containing small fractions can be transported in gondola cars. During such transportation, due to the influence of external factors, cargo losses are inevitable.

It is bulk industrial cargo transported in open and closed cars that have the largest share of cargo weight losses during transportation [1].

The reasons for the loss of bulk cargo during transportation may be loose internal gaps and other defects in the car body that appear as a result of pressure from the mass of the cargo after loading, vibration during movement, or wear and deformation of the car during operation. Loss of cargo is caused by violation of transportation and storage conditions, blowing out of cargo particles by air flow (dust entrainment), shedding of the top of the cargo pile beyond the side of the body and the actions of intruders. The reason for the loss of cargo may also be a violation of production technology, for example, shipment before the completion of the change in physical and chemical properties. Due to external conditions and the inherent properties of the cargo, its natural loss may occur. As a result, the amount of cargo in the car at the

delivery point will differ from the amount of cargo at dispatch.

Even partial loss of cargo leads to financial costs and adverse consequences for all persons interested in quality transportation. Consignees are faced with a shortage of the required volume of necessary goods. Shippers, carriers and persons responsible for transportation may receive claims from consignees. Detection of loss by the consignee upon receipt or already during processing of cargo can lead to disruptions in its business processes [2]. The difficulty of determining the location of cargo loss and the responsible organisations leads to lengthy disputes, loss of trust in shippers and a decrease in the competitiveness of cargo carriers in the market.

Reliability of transportation is one of the main requirements for transport companies. To reduce the likelihood of cargo loss, timely detection of loss and identification of bottlenecks in the supply chain, railway transport enterprises need a modern tool for monitoring the safety of cargo transported in open cars. Monitoring the condition of cargo during transportation in real time is an effective process for ensuring reliable transportation.

Modern scientific research in the field of transportation management and transport operation witnesses a steady trend to improve transportation processes using digital tools and to improve business processes using computer vision systems and artificial intelligence [2; 3].

The *objective* of the study is to describe the intelligent structure of monitoring the safety of goods transported by rail in open cars, and the process of its application in real time. As a result of the use of software, the operator's functions for visual control of cargo in railway transport should be transferred to a digital tool with the addition of new capabilities, increasing the volume and improving the quality of control.

Since technologies are affordable, do not require a complex process of implementation at the enterprise and additional personnel skills, have a higher degree of diffusion and speed of spread, the research process should solve the problems of minimal use of various types of equipment and ease of operation of the tools of control over cargo safety.

¹ Transport of Russia. Information and statistical bulletin. Ministry of Transport of the Russian Federation. Moscow, 2022.

RESEARCH METHODS

Based on the results and successful testing of a previously completed study on identifying damaged cargo and packaging during transportation and warehousing using a convolutional neural network, it was decided to develop the technology in priority areas [2].

Based on the results of the description of the problem of loss of bulk cargo during transportation in gondola cars, conclusions were drawn about the relevance and research goals were set.

As a result of the analysis and systematisation of existing and promising methods for monitoring the safety of cargo in gondola cars, it became clear that at the moment there are no tools that meet the goals.

In the process of searching for tools and methods for calculating uneven surfaces and small fractions of a certain object, an analysis of open sources of information was carried out, including in Russian and foreign abstract databases of previously completed studies, thematic publications, data on the websites of technology companies, government bodies, etc. As a result of the search and analysis, it was concluded that the objectives of the study can be achieved through the transfer of photogrammetry methods.

An extrapolation of stereophotogrammetry is proposed for shaping and calculating the relief parameters of the upper part of the cargo in a gondola car.

A descriptive and visual representation of image processing by an intelligent computer-software information system was carried out in the process of determining the unfilled volume of a gondola car using the photogrammetry method.

Based on objective scientific forecast data, conclusions were drawn about the possibility of using the proposed method to control the safety of bulk cargo during transportation.

LITERATURE REVIEW

The principles of ensuring the safety of bulk cargo transported in gondola cars are reflected in the relevant regulatory documents, which require, to prevent spillage and blowing, to clean the cars from the remnants of previously transported cargo and to use serviceable cars and unloading hatches [4]. An example of regulatory regulation to be quoted is the Order of the Ministry of Transport of

Russia dated January 14, 2020, No. 9 «On approval of the rules for transportation of goods by rail in open rolling stock»². Compliance with the norms and rules for the transportation of goods in gondola cars makes it possible to exclude their excessive loss during transportation as compared to established standards.

To ensure the safety of goods transported in gondola cars, sealing materials are used to seal body defects, including the lining of cars [5]. Special tools and compaction equipment are used to level and statically compact cargo during loading. The loads are covered with protective materials and bound with special pastes and impregnations. If necessary, it is possible to choose big bags, containers for transportation, use car liners and other devices that protect against the loss of bulk cargo.

Control of the safety of cargo can be carried out by weighing the loaded rolling stock at the departure station and destination station [6]. During weight control, the difference between the masses of sent and received cargo, exceeding the limit of permissible discrepancy considering natural loss, indicates the loss of cargo.

Automatic commercial control systems have been developed and used in railway transport, allowing to inspect frames, sides, roofs, hatches and control the cleaning of cars, visually identify, video record, recognize inventory numbers, control the filling level of tanks, the dimensions of cars, the filling of liquid and bulk cargo, identify heterogeneity of cargo (for example, water in petroleum products), carry out dynamic and static under-wheel weighing of cars and record the passage of the train.

Automatic systems include a steel supporting structure located on the tracks for installation of control equipment, television and thermal imaging systems, electronic gates with infrared and optical oversize sensors, a car counting unit and wheel counting sensors, a strain gauge rail, light and sound alarms, lighting systems for monitoring in the dark time of day, communication lines and devices for transmitting signals without interference in conditions of electromagnetic radiation. Such automatic systems require the presence

² Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated January 14, 2020, № 9 «On approval of the rules for transportation of goods by rail in open rolling stock».



of an equipped operator-observer workplace.

Infrared beam sensors form a clearance zone, the intersection of which (beam overlap) indicates that the permissible loading volume of the rolling stock has been exceeded [7].

Control of uniformity and level of loading of cars with liquid and bulk cargo is ensured by direct visual observation by the operator of the loading or by the video stream received from video cameras installed on the frame of the electronic clearance gates.

Thermal imaging systems are used for remote and non-contact monitoring of the filling level of tanks and the filling of cars with liquid and bulk cargo [8]. On the thermographic image, the operator recognizes the border of the loading or embankment of cargo formed in different colours and draws conclusions about the actual filling of the car.

Calculation of cargo mass based on information about the actual level received from a thermal imaging camera is carried out manually or automatically based on the calibration parameters of the body in accordance with its inventory number, as well as the density and temperature of the cargo.

A tool using non-contact laser (3D) scanning can be used to scan the perimeter, geometry and upper part of the body of each car, performed before departure and upon arrival at the destination, making it possible to determine the difference in the volume of cargo in the car and identify the fact of loss [9].

The operation of most 3D laser scanners is based on the principle of triangulation, placing a beam on the surface of an object and measuring the distance to it, or measuring the response time of the beam from the surface of the object. Based on a cloud of points of geometric samples that have coordinates in space, a 3D model is built.

Using industrial 3D scanning, a three-dimensional model of the body with a load is formed in the metric coordinate system. The resulting 3D scan profile is mathematically divided into elementary volumetric cubes, the volumes of which are determined based on the parameters of the body in accordance with its inventory number [10].

After calculating the volumes of the simplest bodies, all calculated volumes are summed up. As a result, a three-dimensional 3D model of the car is formed based on the actual dimensions. The difference between the

digital twins of the body at the points of departure and destination, already expressed in units of volume, if the permissible loss norms are exceeded, will indicate the loss of cargo.

The listed modern and promising tools for monitoring the safety of cargo require the installation of additional equipment necessary to perform only these tasks and the involvement of personnel.

The use of additional equipment and materials complicates and increases the cost of the transport process, while not excluding the loss of goods, for example, due to the malicious intent of third parties. Cargo safety monitoring using automatic commercial control systems also requires the installation of expensive equipment directly at the control point and the involvement of an operator to carry out continuous monitoring at each control point.

RESULTS

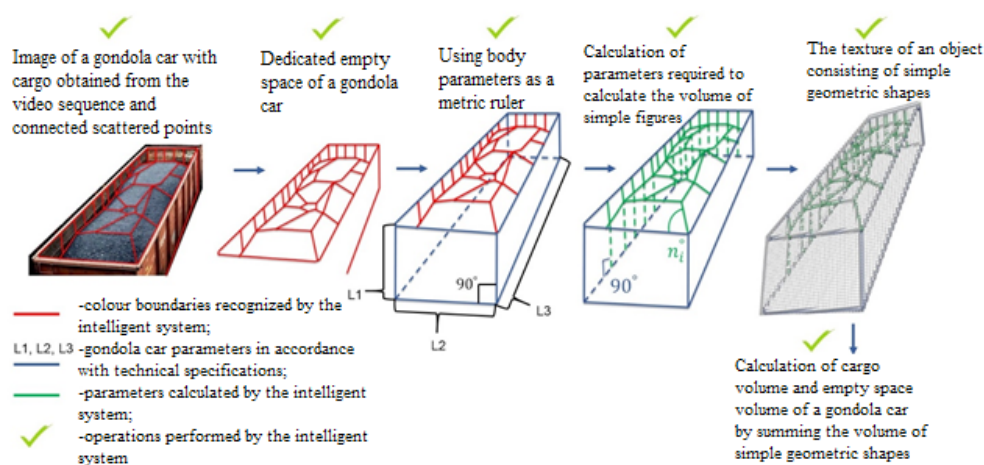
Scanning systems that require the least expensive equipment include systems that use passive scanners that do not have their own radiation, but detect visible light reflected from the surrounding space.

The method of automatic digital models based on photogrammetric tools can be compared with fairly accurate 3D laser scanning [11].

Stereoscopic passive scanning systems using photometric technology involve the use of one or two 2D cameras located in different places and oriented in the same direction [12].

Creating a three-dimensional model and determining the size, shape, position and other characteristics of objects is carried out based on photographs taken from different angles and is done using photogrammetry or stereophotogrammetry. Image processing is carried out using special software.

To obtain video images in places where cargo safety is monitored, it is necessary to install video cameras. A visual 2D image of the real world (a gondola car with cargo) obtained from the video sequence is loaded into the neural network. The image resolution is determined by the camera resolution. To detail the controlled object, the image resolution must be sufficient to recognize the boundaries of the car body, contamination of the car and the contours of the topography of



Pic. 1. Image processing by an intelligent computer-software information system in the process of determining the unfilled volume of a gondola car using the photogrammetry method [developed by the author].

the cargo. The higher is the detail of the image, the higher is the accuracy of calculating the unfilled volume of the gondola car due to the correct recognition of the contour details of the cargo surface.

As a result of photogrammetric analysis of colour digital images of an open car with cargo inside obtained and loaded into a computer program, it is possible to obtain metric data on the shape, size, distances between elements and other parameters of the selected object (Pic. 1).

In this study, the object chosen to obtain metric data is the unfilled space in the upper part of the gondola car.

Video recordings received from cameras and pixelated images are loaded into the neural network. To unify the input data, before loading into the neural network, images can be converted into a 1D array of a fixed size.

Using a semantic segmentation algorithm, a gondola car with cargo and empty space is detected and isolated from the image based on unique features.

To create a three-dimensional model of the selected object, it is necessary to upload photographs taken from different angles. For images to be combined, each subsequent frame must intersect with the previous one by 30 % [13].

On the resulting model, a cloud of points is scattered along the colour boundaries (changes in pixel brightness). The number of points affects the measurement accuracy. Maximum accuracy is achieved with the maximum number of points. Based on the

cloud of points, the surface texture of the load is constructed, consisting of simple geometric shapes.

To calculate the volumes of simple figures, it is necessary to orient the program in the metric system, designating point markers. To do this, it is necessary to compare the points with a metric ruler, on the scale of which all distances will be calculated.

The volume of unfilled space in a gondola car is determined regardless of the topography of the cargo surface.

The sides of the car body, the parameters of which are known from the technical characteristics of each car model, can be used as a metric ruler. Technical characteristics of car models include body volume in cubic meters and internal dimensions in millimetres, including height from the floor to the end of the walls, length and width along the floor.

The car model is encrypted in a unique eight-digit inventory number printed on the side wall and on the centre beam of the frame. To identify the car model, the intelligent expert system for monitoring the safety of cargo must be supplemented with a unit with cameras for video recording of car numbers and a compatible tool for automatic recognition and decoding of side numbers in motion.

Technical vision systems make it possible to recognize the inventory number of a car in motion [14].

An alternative to using body sides as a metric ruler is to install measuring rulers at control points as additional equipment.



DISCUSSION

Regardless of the reason for the loss, the volume and weight of the cargo in the car decreases. When the volume of bulk cargo in a car decreases, in most cases the cargo sags and its level in relation to the upper sides of the body decreases. The space between the surface of the load and the plane along the top of the sides of the car (free space) increases. Thus, an increase in free space may indicate the loss of cargo, and a comparison of the volume of free space at the beginning of transportation and the volume of free space at the control point at the selected stage of transportation will allow us to record the fact of loss and determine the volume of lost cargo.

The use of images obtained from photo and video cameras makes it possible to recognize certain objects [3].

Photogrammetry methods make it possible to construct a measurable model of a loaded gondola car [15].

At night, in unfavourable weather and climatic conditions, and in other conditions when it is difficult to obtain a clear image, as well as when the cargo surface is hidden during transportation, for example, by snow cover, the quality of cargo safety control may deteriorate significantly or may not be possible at all.

It is possible to minimise the influence of natural phenomena and other external factors on the process of obtaining a sufficiently clear image and the result of its processing with the help of additional devices, structures, and technologies that provide the most uniform illumination without hard shadows and glare, performing higher-resolution shooting, and protecting the controlled area from precipitation and using computer programs that use a super-resolution image recognition algorithm and convolutional neural networks.

The advantage of using the image processing method using a convolutional neural network and stereophotogrammetry is the minimum required amount of necessary equipment on the railway track, mainly video cameras, and the absence of the need to involve a person to process information during monitoring the safety of cargo.

The proposed method makes it possible to increase the probability of detecting the loss of cargo in a gondola car before delivery to the consignee and to automate routine operations

by transferring the functions of identifying the fact of loss from a specialist to an intelligent software-computer assistant based on loss recognition using a convolutional neural network and stereophotogrammetry.

The use of the proposed method solves the problem of timely identification, photographic recording and registration of the fact of loss of bulk cargo. The problems of involving employees in the process of proceedings, finding a person responsible, administration, loss of time and additional costs, reducing the level of customer satisfaction and cumulative negative economic effect are being solved. This method can be useful for medium and large enterprises transporting and processing cargo flows by rail.

Transport management is increasingly moving from heuristic to automated and intelligent one [16]. An intelligent railway is a complex technical and technological system interconnected with the digital economy [17].

In modern economic conditions, focused on technological superiority, and considering the characteristics of the transport industry, which needs rapid development, an important factor is the possibility of dissemination and maintenance of introduced technologies [18].

The possibility of implementing the proposed method without installing additional equipment meets the requirements for innovative technologies in railway transport.

Further development of technology for monitoring the safety of cargo in gondola cars using stereophotogrammetry is to create a viable product and implement it in real conditions.

CONCLUSION

Intellectualisation of cargo safety control and information processes meets the requirements and is the most important direction in the development of railway transport³ [19].

As a result of this study, a description of the intelligent computer-software structure for monitoring the safety of bulk cargo transported by rail in gondola cars is suggested. Cargo safety is monitored in real time using

³ Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035 (as amended by Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r). Moscow, Government of the Russian Federation, 2021.

stereophotogrammetry methods. Visual control functions are transferred to a convolutional neural network.

Based on the results of the description of existing control methods, we can conclude that the proposed tool is the most affordable for transport companies, does not involve a complex implementation process and does not require additional skills from personnel. The proposed method has a higher degree of diffusion and speed of dissemination in transport production.

The research has allowed to solve the problems of minimal use of various types of equipment and ease of operation of the cargo safety monitoring tool.

REFERENCES

1. Smekhov, A. A., Malov, A. D., Ostrovsky, A. M. et al. Cargo science, safety and securing of cargo [Gruzovedeniye, sokhraneniye i krepleniye gruzov]. Ed. by A. A. Smekhov. Moscow, Transport publ., 1989, 247 p. ISBN 5-277-00365-7.

2. Malyshev, M. I. Using Artificial Intelligence to Identify Damaged Goods by the External Appearance of the Package when Performing Logistics Operations. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 4 (101), pp. 61–72. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-4-5.

3. Zhou Yun, Yilin Pei, Ziwei Li, Liang Fang, Yu Zhao, Weijian Yi. Vehicle weight identification system for spatiotemporal load distribution on bridges based on non-contact machine vision technology and deep learning algorithms. *Measurement*, 2020, Vol. 159, 107801. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107801.

4. Baukin, V. G. Sources of legal regulation of railway transport activities [Istochniki pravovogo regulirovaniya deyatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta]. *News of higher educational institutions. Jurisprudence*, 2004, Iss. 2 (253), pp. 76–90. EDN: TKSREB.

5. Chepurchenko, I. V., Nosyrev, D. Ya., Korkina, S. V. Using optimal design theory to improve the body design of a solid-bottom gondola car [Ispol'zovanie teorii optimal'nogo proektirovaniya dlya usovershenstvovaniya konstruktssii kuzova glukhodonnoy poluvagona]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2018, Iss. 3 (69), pp. 28–32. EDN: YASFVR.

6. Pintão, B., Mosleh, A., Vale, C., Montenegro, P. A., Costa, P. A. Development and Validation of a Weigh-in-Motion Methodology for Railway Tracks. *Sensors*, 2022, Vol. 22, 1976. DOI: 10.3390/s22051976.

7. Zapuskalov, V. G., Redkin, V. I., Egiazyaryan, A. V. [et al.] Patent No. 2066282 C1 Russian Federation, IPC B61K 9/02. device for monitoring oversized cargo of rolling stock: No. 95113376/11: application 28.07.1995: publ. 10.09.1996 / applicant Transbaikal Railway. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2066282C1_19960910. Last accessed 04.09.2023.

8. Borodin, K. Rosneft introduces thermal imaging monitoring to increase the loading of tanks with dark petroleum products [Rosneft vnedryaet teplovizionniy monitoring dlya uvelicheniya zagruzki tsistern s temnymi nefteproduktami]. *Energo-news*, 2014. [Electronic resource]: <http://energo-news.ru/archives/120823>. Last accessed 04.09.2023.

9. Dhital, D., Lee, J. R. A fully non-contact ultrasonic propagation imaging system for closed surface crack evaluation. *Experimental mechanics*, 2012, Vol. 52, pp. 1111–1122. DOI: 10.1007/s11340-011-9567-z.

10. Shilov, I. G. System for 3D laser measurement and calculation of the volume of bulk cargo in the perimeter of the dump truck body LaseTVM [Sistema lazernogo 3D izmereniya i rascheta obemaa nasypnogo gruzha v perimeter kuzova samosvala LaseTVM]. *Gold and Technologies*, 2017, Iss. 4 (38), pp. 56–57. EDN: YBMEDR.

11. Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., Negreiros, J. Off-the-shelf laser scanning and close-range digital photogrammetry for measuring agricultural soils microrelief. *Biosystems engineering*. 2009, Vol. 103, Iss. 4, pp. 504–517. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.02.010.

12. Bernardini, F., Rushmeier, H. The 3D Model Acquisition Pipeline. *Computer Graphics Forum*. Oxford, UK: Blackwell Publishers Ltd, 2002, Vol. 21, Iss. 2, pp. 149–172. DOI: 10.1111/1467-8659.00574.

13. Grushin, S. P., Sosnovsky, I. A. Photogrammetry in archeology – methods and prospects [Fotogrammetriya v arkheologii – metodika i perspektivy]. *Theory and practice of archaeological research*, 2018, Iss. 1 (21), pp. 99–105. EDN: YSDASI.

14. Volotovskiy, S. G., Kazansky, N. L., Popov, S. B., Khmelev, R. V. Technical vision system for recognizing the numbers of railway tanks using a modified correlator in the Hausdorff metric [Sistema tekhnicheskogo zreniya dlya raspoznavaniya numerov zheleznodorozhnykh tsistern s ispol'zovaniem modifizirovannogo korrelyatora v metrike Khauzdorfa]. *Computer Optics*, 2005, Iss. 27, pp. 177–184. EDN: HYQGBZ.

15. Mikhailov, A. P., Chibunichev, A. G. Photogrammetry: Textbook [Fotogrammetriya: Uchebnik]. Ed. by A. G. Chibunichev. Moscow, Publishing house MII Gaik, 2016, 294 p. ISBN: 978-5-91188-070-5.

16. Lyovin, B. A., Tsvetkov, V. Ya. Information Processes in Big Data Environment. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 6 (73), pp. 20–30. EDN: YTBSCB.

17. Lyovin, B. A., Tsvetkov, V. Ya. Digital Railway: Principles and Technologies. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 3 (76), pp. 50–61. EDN: XVYKXJ.

18. Malyshev, M. Managing the spread of digital information technologies in transport systems [Upravleniye rasprostraneniem tsifrovyykh informatsionnykh tekhnologii v transportnykh sistemakh]. *Logistika*, 2023, Iss. 1 (193), pp. 35–40. DOI 10.54959/22197222_2023_01_35.

19. Lapidus, B. M. On the impact of digitalisation and Industry 4.0 on the prospects for the development of railway transport [O vliyaniy tsifrovizatsii i Industrii 4.0. na perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta]. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC RZD*, 2018, Iss. 1, pp. 1–8. EDN: YSLAKR. ●

Information about the author:

Malyshev, Maxim I., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Management of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, dicorus@mail.ru.

Article received 19.07.2023, approved after reviewing 23.09.2023, accepted 27.09.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-16>World of Transport and Transportation, 2023,
Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 298–304

The Role and Place of the International Ship and Port Facility Security Code in the International Legal Mechanism for Ensuring Security in Maritime Transport

**Maria S. Kupriyanovich***Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.*✉ fran-masha@yandex.ru*Russian Science Citation Index PAIN-code: 3368-6007.***Maria S. KUPRIYANOVICH****ABSTRACT**

One of the measures taken by the International Maritime Organization to prevent terrorist acts at sea was adoption of amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, aimed at ensuring that ships and their cargo do not become targets of terrorist activities.

Complementing the amendments is the International Ship and Port Facility Security Code, which is reviewed in this article. The Code describes a specific mechanism for ensuring security in ports and related facilities, and establishes cooperation

between government agencies, the shipping and port industries in identifying security threats and preventing incidents affecting ships in ports or port facilities themselves. The document contains effective elements for preventing and deterring incidents against maritime security. In this capacity, the International Ship and Port Facility Security Code has undoubtedly influenced further development of international law in the field of security, safety and efficiency of international maritime transportation.

Keywords: water transport, SOLAS-74 Convention, ISPS Code, international maritime transport, maritime safety, safety levels, declaration of security.

For citation: Kupriyanovich, M. S. The Role and Place of the International Ship and Port Facility Security Code in the International Legal Mechanism for Ensuring Security in Maritime Transport. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 298–304. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-16>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

After the events of September 11, 2001, at the 22nd session of the Assembly of the International Maritime Organization (hereinafter referred to as IMO) in November 2001, a unanimous decision was made to develop new measures for the security of ships and port facilities. In December 2002, at the Diplomatic Conference on Maritime Security, the International Ship and Port Facility Security Code (hereinafter referred to as the Code; ISPS Code) was adopted simultaneously with Chapter XI-2 of the International Convention for the Safety of Life at Sea (hereinafter referred to as SOLAS-74; SOLAS; Convention), which it entered into force on July 1, 2004.

The ISPS Code is the most advanced maritime safety document in decades and contains the most comprehensive provisions establishing international standards for maritime safety and security [1].

Since its entry into force in July 2004, participating states have been required to establish maritime safety levels in accordance with the provisions of Chapter XI-2 of SOLAS 74 and Part A of the ISPS Code [2, P. 34]. Flag State responsibilities are usually assumed by the relevant competent authority of each State, which is responsible for verifying that ships comply with the provisions of Chapter XI-2 of SOLAS 74 and Part A of the ISPS Code. In addition, the relevant flag state authority approves ship security plans and issues international ship security certificates.

The objective of the article is a detailed analysis of the provisions of the ISPS Code.

RESULTS

Historically, the port and shipping industries have always been subject to high crime rates [3, pp. 11–41]. That is why it is worth noting the importance of implementing the provisions of the ISPS Code on security measures, since increasing its level in the shipping industry has a positive effect on the state of the entire global economy.

In November 2001, two months after the terrorist attacks of September 11, the 22nd session of the IMO Assembly adopted a resolution entitled «Review of measures and procedures for the prevention of terrorist acts threatening the safety of passengers and crew and ships». Based on the results of an extraordinary meeting of the IMO Maritime Safety Committee (hereinafter

referred to as the MSC), also held in November 2001, it was decided to prepare amendments to SOLAS-74 in connection with the spread of the threat of maritime terrorism. Work continued through the MSC Intersessional Working Group in February 2002, which reported the meeting's conclusions to MSC 75 in May 2002, when an ad hoc MSC Working Group was established to further develop proposals. An MSC Intersessional Working Group met in September 2002, the results of which were reviewed at MSC 76 in December 2002, immediately prior to submission of the final ISPS Code to the Diplomatic Maritime Safety Conference held in London that same month [4].

The MSC and its associated Maritime Safety Working Group led the development of amendments to the existing Chapter XI of SOLAS 74. These amendments were adopted by the IMO Assembly and renamed Chapter XI-1 of SOLAS 74. At the Conference of Contracting Governments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 (Diplomatic Maritime Safety Conference), held from 9 to 13 December 2002, IMO Member States adopted a number of resolutions and measures to amend SOLAS 74, which have been included in the new ISPS Code¹.

The negotiations were attended by 109 States Parties to the Convention, as well as representatives of numerous international, intergovernmental and non-governmental organizations. At the same time, the ISPS Code was developed and included as a new chapter of SOLAS 74 XI-2, dealing with special measures to enhance maritime security. The provisions of the ISPS Code came into force on July 1, 2004.

New security measures have created a framework for cooperation between governments and the shipping and port industries to contain and respond to security threats affecting international maritime trade [5]. States must provide the IMO with up-to-date information on the safety measures taken every five years. The main purpose of the ISPS Code is to prevent the potential use of a ship as a weapon or means of transport for persons intending to pose a security threat, as well as for terrorist financing activities. The ISPS Code

¹ Resolution 2 of the Conference of Contracting Governments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 (adopted 12 December 2002). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/71516734/>. Last accessed 08.09.2023.



defines the respective roles and responsibilities of participants in international maritime transport and develops a methodology for governments and the private sector to assess the extent of threats and respond to them [6, pp. 378–385]. Relevant government agencies, officials of ships and port facilities, as well as personnel on shore and at sea play an integral role in ensuring transport security at sea [7].

The ISPS Code applies to ships on international voyages (including passenger ships, cargo ships of 500 tons and above, and mobile offshore drilling units), as well as port facilities serving such ships². Previously, SOLAS 74 did not apply to port facilities, but IMO States Parties have concluded that the inclusion of Chapter XI-2, within the meaning of the ISPS Code, in SOLAS 74 is the most expeditious method of introducing new safety requirements. In accordance with the ISPS Code, port facilities and ships are required to develop and comply with ship security plans, which are reviewed by the relevant government authorities.

National legislation will generally provide industry-specific rules for submission and approval of ship and port facility security plans and for amendments to approved plans. Specially designated authorised bodies and departments of flag states can be identified, or officials can be appointed to perform on their behalf the duties of inspecting port facilities or ships to assess compliance with maritime security measures. These powers include inspecting the port facility or ship for compliance with established requirements, inspecting technical security equipment, documents, records and plans, conducting interviews with port or ship staff, and organizing exercises to ensure the security of the port facility or ship and their assessment [8, pp. 42–47].

Verification activities may also include examination of documentation: Port Facility Statements of Compliance or verification of the International Ship Security Certificate or Interim International Ship Security Certificate, as well as any other activity to assess the compliance of the port facility or ship with maritime security measures. An International Ship Security Certificate is a certificate issued by or on behalf of the ship's administration and confirming the ship's compliance with the maritime security

measures set out in Chapter XI-2 of SOLAS and the ISPS Code [2, pp. 68–80].

The Russian Federation is a state party to SOLAS-74 and the ISPS Code, which are reflected in the Federal Law «On Sea Ports in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation»³ and in the «Merchant Shipping Code of the Russian Federation»⁴. The Ministry of Transport of the Russian Federation coordinates the activities of the Federal Service for Supervision of Transport and the Federal Agency for Maritime and River Transport (hereinafter referred to as Rosmorrechflot) to fulfil the obligations of the Russian Federation arising from Chapter XI-2 of SOLAS-74 and the ISPS Code⁵. According to Rosmorrechflot, the following activities are regularly carried out aimed at strengthening systems for ensuring transport security (security) of ships flying the State Flag of the Russian Federation and port terminals, as part of the implementation of the requirements of Chapter XI-2 of SOLAS-74 and the ISPS Code:

- At port facilities located on the territory of the Russian Federation and handling ships flying a foreign flag, security assessments were carried out, security plans were developed and approved, according to IMO.

- International ship security certificates and Temporary international ship security certificates are issued.

- To carry out work to assess security, develop security plans and equip ships and port facilities with engineering and technical security equipment in accordance with the requirements of Order of the Ministry of Transport of Russia dated March 11, 2008 No. 42, authorised organisations in the field of security have been identified.

³ Federal Law «On sea ports in the Russian Federation and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation» dated November 8, 2007, N 261-FZ. [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72390/. Last accessed 08.09.2023.

⁴ «Merchant Shipping Code of the Russian Federation» dated 30.04.1999, N 81-FZ. [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/. Last accessed 08.09.2023.

⁵ Decree of the Government of the Russian Federation of November 3, 2007, N 746 «On the implementation of the provisions of Chapter XI-2 of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 and the International Code for the Security of Ships and Port Facility». [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/12156977/>. Last accessed 08.09.2023.

² International Convention for the Safety of Life at Sea 1974 (SOLAS), Chapter XI-2: Special Measures to Enhance Maritime Security.

– Training centres provide training for specialists in the field of security at maritime transport facilities. All shipping and stevedoring companies have appropriately trained security officials, on each ship – security officers, all crew members have Certificates in accordance with section A-VI/6 of the International Convention on Standards of Training and Certification for Seafarers and watchkeeping 1978.

– Work is underway to implement security plans for ships and port facilities, which includes issues of equipping them with engineering and technical security equipment.

– Research and developments are underway to analyse and consider safety and security risks for the transport, taking into account the threats to security comprising terrorist acts [9], new UAV-technology [10].

Since October 2008, Rosmorrechflot, together with the command of the Navy of the Russian Federation, has been performing the function of organizing and implementing the safe passage of merchant ships through the pirate-prone waters of the Gulf of Aden [11].

Thus, measures to ensure maritime security were primarily taken to contain and counter terrorist threats in maritime transport [12; 13].

States parties to SOLAS 74 have committed to adapt national legislation to ensure the security of ships and ports in accordance with the ISPS Code⁶. States also have the discretion to extend the provisions of the ISPS Code to other ships and port facilities that are not subject to these measures, and at the same time, States Parties undertake not to enact legislation that imposes lower requirements or standards for international ships and port facilities than the ISPS Code.

The effectiveness of new measures depends on the extent to which these provisions are widely implemented and enforced. For example, the US Maritime Transportation Security Act of 2002 (MTSA) and its regulations have been aligned with SOLAS 74 and the ISPS Code maritime safety standards. At the end of the period of implementation by states of changes to SOLAS-74 and the ISPS Code into national legislation, the number of incidents threatening the safety of maritime transport has noticeably decreased. This included a reduction in the

number of crimes related to illegal entry into protected facilities, as well as a reduction in the number of deaths due to accidents at sea.

However, gaps in implementation and application of security measures remain for a variety of reasons. States implement different approaches to implementation of adopted maritime security measures, considering specific national constitutional and legislative procedures (it relates to transport security in wider aspects, e. g. [14–16]). Some states have not yet fully implemented these measures. Typically, states have integrated the security provisions of the ISPS Code by amending existing national port and shipping legislation [17]. However, in some cases it is necessary to adopt new laws, which is a serious problem from a financial point of view, since ensuring maritime safety and protecting the marine environment require large government expenditures.

Since the requirements of Part A of the ISPS Code are mandatory, the attention of States Parties is focused on implementation of these regulations. Part B is not mandatory, but many governments have also included the provisions of Part B in their national legislation [6, P. 383].

Due to many different types of ships and port facilities, the ISPS Code does not specify the individual measures that each port and ship must take. It sets out a universal framework for risk assessment and response. New security measures for ships include requirements for the maintenance of ship security plans, the introduction of a ship security officer, and requirements for certain equipment carried on board a ship. Similarly, port authorities are required to develop security plans, appoint security personnel and install certain equipment.

Chapter XI-2 of SOLAS 74 contains «special measures to improve maritime safety», which are included in parts A and B. These measures apply to port facilities within the jurisdiction of a state, including foreign territories of the state, to flag state ships subject to SOLAS-74, and ships sailing in its territorial sea [6, pp. 385, 386]. These measures should determine which organization within the government has the authority to ensure the security of port facilities and ships flying its flag.

Maritime safety measures apply to ships subject to SOLAS 74 and the ports that serve them. Port States may also extend these measures to port facilities and ships not covered by SOLAS 74. However, the ISPS Code does not apply to

⁶ Guidance Relating to the Implementation of SOLAS Chapter XI-2 and the ISPS Code. – International Maritime Organization (IMO). [Electronic resource]: <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MS-Circ.1111.pdf>. Last accessed 08.09.2023.





<https://news.s.un.org/ru/story/2021/06/1405352>

ships possessing sovereignty, including warships, naval auxiliaries or ships owned or operated by the State and used for non-commercial purposes [2, pp. 26–28].

Tugs and other port vessels, offshore supply and support vessels, fishing vessels and pleasure craft, as well as facilities servicing these vessels, may also be subject to these measures in accordance with domestic law. However, it should be noted that security measures do not apply to the activities of foreign-flagged vessels operating off the coast of a coastal state outside the territorial sea. That is, these measures do not apply within a state's exclusive economic zone (EEZ) or continental shelf, even though SOLAS 74 involves ships sailing in these waters and operating offshore installations such as offshore drilling platforms and floating oil production systems or other ships, including ships not covered by SOLAS 74. Consequently, governments can develop bilateral or multilateral security regimes governing interactions in areas beyond the territorial sea. For example, States may agree that the interaction between a SOLAS vessel and an offshore installation, or a SOLAS vessel and a non-SOLAS vessel, involves the exchange of a Declaration of Security (DoS), hereinafter referred to as the Declaration. or a similar document [2, pp. 30–32].

A Declaration of Security is an agreement between a ship and the port facility or other ship with which it interacts, defining the security measures that each party respectively undertakes to take during the period of interaction. Depending on the risk of interaction between ships and ports, governments determine the need to issue

a Declaration for ships flying their flag and ports under their jurisdiction.

All officers, security personnel, ship's crew and ship's crew are required to undergo security awareness training. Various government agencies, port facility operators and authorities, as well as industry shippers and carriers are required to maintain security awareness in the supply chain [2, pp. 110–112].

A shipping company's staffing schedule must include at least one company officer responsible for security and one officer responsible for security for each of its ships. Governments are also responsible for establishing the level of security for their ports and ships flying their flag. Only government officials may establish the applicable level of security and approve port facility security assessments and security plans, identify port facilities that require the appointment of a port facility security officer, and implement compliance measures in accordance with Chapter 9 Regulation XI-2 of the Convention and determine the requirements for the declaration of protection.

The security measures taken must correspond to a certain level of threat. The Code provides a standard threat assessment system that allows States to set or change security levels depending on the vulnerability of ships and port facilities. Factors that should be considered when determining security levels include the degree of reliability, validity and specificity of information about a threat or the degree of imminence of a threat, as well as the potential consequences of such an incident [6, P. 387].

Competent government authorities collect and assess information about potential threats to

ports and ships flying their flag. Based on information about the threat, the administration of port facilities and ships establishes a security level that reflects the degree of threat and the likelihood of an incident, for example, an act of maritime piracy, terrorism or sabotage. According to the Code, there are three levels of security:

- Security level 1 – a normal level, where ships and port facilities are operated as normal and minimum appropriate security measures sufficient to counter most types of crime must be always maintained.

- Security level 2 – an elevated level declared for a period of time during which there is an increased risk of an incident and appropriate additional safety measures must be maintained.

- Security level 3 – an exceptional level declared for a period of time when an incident is likely or imminent and during which further special safety measures must be maintained, up to and including the suspension of activities [2, pp. 112–116].

Governments are free to establish a single level of security for all ships registered under their flag and all their ports and port facilities, or to differentiate levels between ships and ports or between different parts of a port or port facility. Likewise, governments may apply a single level of security throughout the territory within the boundaries of their territorial sea or establish different levels of security in different areas of their territorial sea.

Authorised authorities responsible for ensuring maritime safety operate at the national, regional or municipal levels. As a rule, at the national level, coordination is carried out with various structures to develop comprehensive approaches to ensuring maritime safety, which is a difficult task in the context of fragmented inter-agency communication. To overcome bureaucratic barriers, states create specialized departments or agencies that act as a liaison for development and implementation of national maritime security policies. Such a department, as a rule, should work jointly with other relevant ministries and departments to formulate a national security concept, a list of threats and vulnerabilities, national security priorities, develop initiatives to ensure maritime security based on the national strategy, develop coordinated positions on international treaties, resolving jurisdictional issues between departments and implementing policies at the national level.

The 2004 Practical Guidelines of the International Labor Organization and the International Maritime Organization on Port Security invite each state to develop its own port security policy document [15]. It appears that such a document would define the scope and importance of the country's maritime industry and infrastructure, identify key maritime threats, as well as define the responsibilities and responsibilities of various security and law enforcement agencies, the application of the level of national security to ports and ships, sectoral responsibilities and delimitation of powers government. An example of this kind of document in the Russian Federation is the «Maritime Doctrine of the Russian Federation»⁷.

CONCLUSION

Thus, the International Ship and Port Facility Security Code is a comprehensive program to improve the overall level of security in international maritime transport. The provisions of the Code describe methods that state governments can use to ensure the safety of navigation if they have a certain infrastructure for uninterrupted and safe maritime transport communications. The Code is also a supporting document that highlights vulnerabilities in states' transportation systems that put critical safety elements at risk. By identifying vulnerabilities, the ISPS Code provides direction for development, approval and implementation of appropriate security plans that eliminate or mitigate the impact of these vulnerabilities and can prevent known or suspected threats.

However, the ISPS Code should not be viewed as a unique and absolute source in the field of international ship and port security [17] but should be viewed as a document containing a set of standards and best practices that offer national governments or authorised bodies a basis for developing their programs and national strategies for ensuring port security, giving them the ability to make changes and additions as conditions or threats change over time. The ISPS Code should be viewed as a dynamic document that will adapt to the changing reality, activities and infrastructure of ports and ships, as well as the nature of the threats to which they are exposed.

⁷ Decree of the President of the Russian Federation dated July 31, 2022, No. 512 «On approval of the Maritime Doctrine of the Russian Federation». [Electronic resource]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207310001>. Last accessed 08.09.2023.



An analysis of the content of the International Ship and Port Facility Security Code demonstrates both the advantages and disadvantages arising from the application of this document. First, the ISPS Code is aimed at increasing the safety and security of the ship and, consequently, minimizing risks, better control over cargo flow, improving documentation procedures, and ensuring safe working conditions that make the work of seafarers and port workers easier. On the other hand, this entails additional work for both ship crews and port authorities, as security-related tasks are added, which negatively affects the speed of work. It is also inevitable that the operating costs of a vessel will increase when the provisions of the Code are introduced into national legislation, for example, an increase in port costs (longer stay in port when the security level changes/increases in accordance with paragraphs 7, 8 of part A of the ISPS Code).

In conclusion, it is worth noting that the International Ship and Port Facility Security Code may not have been able to completely prevent and eliminate incidents related to the safety of international maritime navigation, but it has undoubtedly created a strong foundation for ensuring the safety of maritime transport throughout the world. The measures described in the Code will only be effective if all actors in the maritime shipping industry implement and effectively apply the developed regulations and elements specified in the document.

REFERENCES

1. Mensah, T. A. The place of the ISPS Code in the legal international regime. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2004, Iss. 3, pp. 17–30. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03195047>.
2. To shipowners and captains: Series: International ship and port facility security (ISPS) code / Transl. by Strelkov V. P. et al. St. Petresburg, CJSC TsNIIMF, 2003, 279 p.
3. Frittelli, J. Port and maritime security: background and issues for congress. In: Vesky, J. Port and maritime security, 2008, New York, Nova Science Publishers, 70 p.
4. Kupriyanovich, M. S. International Code for the Security of Ships and Port Facilities: Analysis of Modern Safety Standards in Maritime Transport // State and Law of Russia in the Modern World: Collection of Reports. XXII International Scientific and Practical Conference of Moscow State Law University named after O. E. Kutafin (MSAL). XXIII International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Law of Lomonosov Moscow State University, Moscow, November 23–25, 2022. Part 3.

Moscow, Moscow State Law University named after O. E. Kutafin (MSAL), 2023, pp. 355–358.

5. Kholikov, I. V., Milovanovich, A., Naumov, P. Yu. Dynamics of Functioning of International Law in the Conditions of Transformation of Modern World Order: Post Non-Classic Approach. *Journal of Russian law*, 2022, Vol. 26, Iss. 11, pp. 132–148. DOI: 10.12737/jrl.2022.122. – EDN ABBLLM
6. Kraska, J., Pedrozo, R. International maritime security law. Brill / Nijhoff Publishers, 2013.
7. Klein, N. Maritime security and the law of the sea. Oxford, 2011.
8. Mejia, M. The ISPS Code, security culture, and the campaign against piracy and other crimes at sea. *BIMCO Bulletin*, 2009, Vol. 104, Iss. 4.
9. Zemlin, A., Pishchelko, A., Kharlamova, Yu. Problems of Realisation of Public Oversight in the field of Transport Counterterrorism Policy. *Kutafin University Law Review*, 2020, Vol. 7, No. 1 (13), pp. 67–78. DOI: 10.17803/2313-5395.2020.1.13.067-078.
10. Zemlin, A. I., Matveeva, M. A., Gots, E. V., Torshin, A. A Problem Issues of Legal Regulation of the Operation of Cars with an Automated Driving System. *World of Transport and Transportation*, 2022, Iss. 20 (4), pp. 117–122. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-11>
11. Implementation of the provisions of Chapter XI-2 of the SOLAS-74 Convention and the ISPS Code // Federal Agency for Maritime and River Transport. [Electronic resource]: https://morflot.gov.ru/deyatelnost/transportnaya_bezopasnost/solas_74/ Last accessed 27.07.2023.
12. Kholikov, I. V. Countering criminal attacks on international maritime security [*Protivodeistvie prestupnym posyagatel'stvam na mezhdunarodnyuyu morskuyu bezopasnost*]. Crime in XXI century. Priority areas of counteraction / Institute of State and Law of the Russian Academy of Sciences. Moscow, Limited Liability Company Publishing House «Unity-Dana», 2020, pp. 431–459.
13. Kholikov, I. V., Okocha, V. A. The Use of Armed Force by Private Maritime Security Companies: Dynamics of Boundaries and Specifics of Legal Regulation in the Modern World. *Journal of Russian law*, 2020, Iss. 12, pp. 147–158. DOI: 10.12737/jrl.2020.154.
14. Kholikov, I. V. Current issues of legal support for forces and means of defense and security of Russia in the context of modern challenges and threats [*Aktualnie voprosy pravovogo obespecheniya sil i sredstv oborony i bezopasnosti Rossii v usloviyakh sovremennykh vyzovov i ugroz*]. *Law in the Armed Forces – Military Legal Review*, 2021, Iss. 12 (293), pp. 116–120. EDN: VBEXDG.
15. Klyonov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and Organization Issues of Transport Occupational Health and Medical Assistance to Passengers in Russian Federation. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 180–191. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191.
16. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 2021, Vol 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
17. Security in ports. ILO and IMO code of practice. Geneva, International Labour Office/London, International Maritime Organization, 2004. ISBN 92-2-115286-3. ●

Information about the author:

Kupriyanovich, Maria S., Ph.D. student at the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, fran-masha@yandex.ru.

Article received 12.09.2023, approved 17.10.2023, accepted 15.11.2023.



**GALLERY
OF NAMES:
SERGEY YU. WITTE**

306

140 years ago, S.Yu. Witte's published a work on railway tariffs. This date is an occasion to re-analyse his historical heritage from both theoretical and practical points of view.

HISTORY WHEEL





REVIEW ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-17>

S. Yu. Witte – Originator of Railway Tariffs Theory. Part 1



Dmitry Yu. Levin

Chief expert, JSC NIIS, Moscow, Russia.

✉ levindu@yandex.ru.

Dmitry Yu. LEVIN

ABSTRACT

Exactly 140 years ago, the most famous, in our opinion, work by Sergei Yu. Witte «Principles of railway tariffs for transportation of goods» was first published. It is difficult to overestimate the importance of this book. Our regular author, a well-known scientist, D. Sc. (Engineering), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences Dmitry Levin, decided to share his thoughts after a new reading of this work, which has not yet lost its relevance. The encyclopedic views of S. Yu. Witte may be of interest both to economists and to sociologists, philosophers, scientists, and specialists in the theory of public administration. Many of S. Yu. Witte's judgments have not lost their scientific, theoretical

and practical significance to this day and in this sense turned out to be prophetic.

The methodology for constructing prices for transportation of goods, set out by S. Yu. Witte is not only of historical interest (especially in conjunction with the reviews and discussions that accompanied the appearance of his book), but remains important for the modern solution of newly arising issues of improving the tariff system under market transition. Not least of all, the methodology is connected with the cardinal question that arose even then: whether railways should be a natural monopoly or a commercial structure – a debate that continues today.

Keywords: S. Yu. Witte, railway, cargo transportation, railway tariffs.

For citation: Levin, D. Yu. S. Yu. Witte – Originator of Railway Tariffs Theory. Part 1. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 306–310. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-17>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

BACKGROUND

S. Yu. Witte was never a professional economist, although he had a very high level of knowledge and awareness in economic literature. And he learned economics mainly through practice, serving on the railway and then heading the Ministry of Finance.

S. Yu. Witte's role in streamlining the tariff business, in which he was an outstanding specialist, was great. The well-known economist, expert in the railway business A. I. Chuprov considered Witte's developments on tariff problems to be «exemplary research», and his work, both in practice and in theory, was very successful. Thanks to the thoroughness of his calculations, the policy he pursued was distinguished by the scientific validity of tariff rates.

After the appointment of S. Yu. Witte as the head of operation of the South-Western Railways and moving to Kyiv, it began to depend on him to ensure favourable conditions for transportation of goods to the ports and the western border of Russia. The fall in bread prices in the early 1880s contributed to increased competition between railways transporting grain cargo. S. Yu. Witte was involved in resolving conflicts and concluding agreements with representatives of competing railroads. Together with the head of the tariff department of the Society of South-Western Railways, A. Shabunevich, he developed proposals for tariffs for 130 types of cargo.

During this period, the journalistic activity of S. Yu. Witte began. In the journal «Engineer» in 1883, his articles appeared on the tariff issue, which was practically new for the country. All Russian tariff literature was limited to newspaper articles written on various special cases, and S. Yu. Witte decided to systematise the materials of his articles in a book. Thus, in 1883, the «Principles of Railway Tariffs for Transportation of Goods» appeared. The first edition of the book attracted enormous attention from experts and the press and was a success. But the book aroused criticism and new independent works on the tariff case, which prompted S. Yu. Witte to prepare a second edition already the next year, 1884. The book was supplemented and expanded with paragraphs on schools in political economy and state regulation of the economy.

This work is notable for the fact that in it S. Yu. Witte showed himself not only as a specialist in tariff matters, but also as an economist with a broad outlook. In the preface

to the first edition, he emphasized that the theoretical side of the tariff matter follows «directly from the economic law of supply and demand, and in its further development presents results that depend on the interaction of elements of the economic, political and even mental life of the people. This interplay of influences is a highly interesting subject for the study of the thinker and economist».

Many years of management of railways inevitably led S. Yu. Witte to the study of a wide range of closely interrelated problems, such as the relationship between private and government operation of railways, the mutual influence of state customs policy and trade, and the balance of the pace of development of industry and agriculture.

S. Yu. Witte began his work with the statement that the price of every item and every service is determined by the law of supply and demand, including determination of tariff rates. To the possible objection that the general law of supply and demand does not regulate the cost of monopoly enterprises, he suggested a large number of examples of competition between railways and other modes of transport and among themselves. And even if we assume that the railways are a complete monopoly, then the law of supply and demand still applies to them.

For proof, a reference is made to the Charters of Russian Railways, which «oblige not to keep tariffs above the maximum standards» specified in the Charter of the Main Society of Russian Railways. In this Charter, all goods are divided into three categories, for each of which the maximum rates of freight charges are given, with a reduction for distances over 200 versts.

Witte proves the fallacy of the idea that the interests of the railway and users are opposed. The interest of the railway really lies in obtaining the highest possible payment for transportation, but at the same time it is important that the volume of transportation does not decrease. Likewise, it is incorrect to say that the benefit of users lies in receiving free transportation. Rail freight charges are only one of the components that determine the market value of a product, and therefore, there is no particular reason for it to be «destroyed preferentially before any others». «Consequently, the interests of reasonable operation of the railway in the field of tariffs, under the action of only one law of supply and demand, in most cases merges with the public interest».



From this the following principle follows: «It is necessary that the goods pay for transportation everything that they can pay». But this is possible when freight charges approach those that would result from the struggle between the opposing desires of forwarders and railways. That is, when freight charges will be regulated based on the law of supply and demand. This tariff provision, according to S. Yu. Witte, is «the most fundamental in the issue of railway tariffs».

Further, S. Yu. Witte argues that when setting tariffs, railways will not strive to reduce the ratio of costs to income, but to obtain the largest net income, i.e., the largest difference between gross income and expenses. And since neither gross income nor expenses depend on the fixed capital spent on repair and construction of railroads, then «the capital of construction of the railway has no influence on the price of transportation, and, consequently, on the tariffs».

The railway, left to free operation of the law of supply and demand, must, in its own self-interest, strive to obtain the greatest net income. From this, S. Yu. Witte draws the opposite conclusion: «The freight prices determined by the free action of the law of supply and demand provide the railways with the greatest net income. These freight prices do not at all depend on the capital of the railway construction».

Let us pay attention to the statement of S. Yu. Witte, what is the difference between trade and sale. Depending on the sale, the seller benefits not only from each unit sold, but also from the number of units sold. If the desires of the buyer and seller are opposite, then their commercial interest unites them. The ability to find techniques and combinations that can encourage this union and expand the possible results is where commercial intelligence manifests itself. Hence S. Yu. Witte simplified the tariff principle to the formula: «Railway tariffs should be set on the basis of reasonable commercial considerations».

Answering the question of what causes the movement of goods from one place to another, he highlighted the difference between prices at the origin and destination of goods. If these differences did not exist, then the need for movement would not arise. Hence, freight prices must correspond to these differences, i. e. obey the prices existing for this product at the points of departure and destination.

The value of a product is related to its need, i. e. an increase in the demand for cheap goods can occur faster and easier than for expensive

goods. On this basis, more valuable goods are transported more expensively than less valuable ones.

In addition to the ability to spread the consumption of goods, the railway must keep its competitors in mind when setting tariffs. And here the law of supply and demand affects railway tariffs. Hence, it is necessary to study the conditions for movement of goods along competing routes.

Since all tariff combinations of railways should contribute to an increase in net income, the railway, when setting tariffs, must take into account the costs caused by movement of goods, which determine the limit of possible tariff reductions. Transportation costs depend on the distance of transportation of goods, its weight, costs and conditions of transportation.

For practical confirmation of the theoretical conclusions made, S. Yu. Witte gave specific examples of established tariffs on the South-Western Railways.

In 1880, a petition was received from the Odessa manufacturer and a request from the Brest soap manufacturers to lower the tariff on soap, which were initially rejected. But a study of statistics on movement of soap on the South-Western Railways showed that it is very rarely sent by carload and the use of a carload tariff does not achieve the goal, because makes up less than 1 % of the total. Soap is sold by small traders who cannot transport it in whole cars. The reduction of the carload tariff to the per-pound tariff influenced the production of soap and provided a significant increase in the volume of soap transportation and the revenue of the road.

When the Southwestern Railway Society was formed in 1878, almost no beets were transported. Reasons: sugar refiners planted beet plantations near factories and delivered beets on carts; the low value of the goods made even minor consumption sensitive and did not allow transportation of this cargo over longer distances, i. e. the high tariff did not correspond to the conditions of production and consumption. In 1879, a refractive (reduced) tariff was established. Already in 1880, they began to transport several hundred thousand poods of beets per year. The tariff was further lowered, and in 1881 transportation of beets reached almost two million poods. It is clearly visible how, with lowering of the tariff, transportation of beets alone increased, not to mention another more serious benefit – the resulting increase in



transportation of sugar. Reduced costs for the purchase of beets made it possible for factories to increase their production. The increase in sugar production increased the profits of sugar refiners and the profitability of the railway, since sugar was transported by rail at a higher rate.

According to the general nomenclature of goods of all Russian railways, approved by the Ministry of Railways, there was a common tariff in domestic and direct traffic for grape wine in barrels. In 1881, 695102 poods of wine in barrels were transported along the Southwestern Railways, including 68,4 % from the stations of the Bessarabian branch (Razdelnaya – Ungheni), 14,6 % from Odessa and 17 % from other stations on the railway.

The poor quality of Bessarabian wine explained its low cost. In Bessarabia, from two to six million buckets of wine were produced, some of which remained for local consumption, some were bought by traders in the form of must and, after final aging and processing, went on sale. The accelerated sale of wine by winemakers in the form of wort, in addition to financial reasons, was explained by the lack of suitable cellars and the high cost of barrels. For an empty barrel they offered an amount of wine equal to the capacity of the barrel. Old wine barrels were even more valuable.

Bessarabian wine was almost never found outside the markets of Bessarabia. That is why the transportation of Bessarabian wine took place over short distances. At the same time, Bessarabian wine represented the most important item of transportation on the Southwestern Railways compared to other wines.

To increase the export of Bessarabian wine, a reduced tariff was established in 1880. After this, according to the zemstvo and statistical institutions of Bessarabia, in the next three years, 32 million grape bushes were planted and wine production increased by 58 %. The amount of Bessarabian wine transported along the Southwestern Railways over distances of over 300 versts, for which the tariff was reduced, increased. According to S. Yu. Witte, an even greater increase in transportation of wine over long distances can be achieved by increasing the tariff for short distances.

Flexible tariff policy has proven to be a very effective tool in competition. For example, tariffs on Donetsk coal introduced on the roads of the Southwestern Society led to an increase in its consumption in the region. Cheap English coal, delivered to Odessa as ballast on ships transporting wheat, ceased to be sold in the south of Russia.

Witte wondered why tariffs cannot be equal to freight prices? In response to the apparent contradiction, he pointed out that railways transport thousands of different goods between thousands of stations. The price of transporting each product between two stations may fluctuate daily, which does not always allow tariffs to be consistent with transportation prices.

In addition, the tariffs provided by the railways, to a certain extent, limit the freedom of action of users, but give stability to commercial transactions and systematize housekeeping. The need for tariffs for public railways is determined not only by their own benefits as commercial enterprises, but also



stems from their nature as institutions of state and public importance. The same conditions for using railway services for all consumers are achieved by publishing tariffs, which did not exist at that time. In this case, tariffs cannot express prices that fluctuate daily under the influence of supply and demand. But, nevertheless, tariffs must be rates corresponding to prevailing prices in each period of time. To do this, they must be regulated at these prices.

Based on extensive work experience, S. Yu. Witte argues that the tariff should depend on the weight, volume and distance of transportation of the shipment. The collection of freight prices in America, mostly on the basis of special agreements, is criticised, which, according to S. Yu. Witte, fundamentally undermines the equality of senders and the national usefulness of the railways. With such a system there cannot be mandatory regulation of tariffs, not only, for example, according to distance, but even according to prudent commercial principles, if these principles are not consistent with the personal benefit of some entrepreneurs.

In England, fares not only did not depend on distance, but it was accepted that the price between two intermediate stations could be higher than between outer stations on the same line. English tariff prices were based on station rates, which were set on the basis of purely commercial considerations.

Tariffs on French roads also did not depend on distance. For tariffication, conventional distances were used, determined at the discretion of the railways themselves. Many French and English road tariffs consisted of tables indicating the transport price for a given product between each two stations separately.

Tariffs of Italian and Austrian roads missed also constant correspondence between distances and freight prices.

A tariff law was passed in Germany at that time, but the German government allowed so many exceptions that it broke the stability and uniformity of tariffs throughout the empire.

In Russia, S. Yu. Witte pointed out: «... the network of Russian roads is not yet widespread enough... when the railways in Russia develop in appropriate quantities and spread in all the

outskirts,» the need to regulate freight prices by distance will disappear.

The incommensurability of the territories of Russia and European countries explains why in the West it is inappropriate to determine freight prices by distance. Russian tariffs for long distances should not be guided by established European norms. At the same time, S. Yu. Witte believed that differentiated tariffs, which, according to once determined formulas, decrease along with an increase in transportation distance, do not solve the issue. Examples are given to prove this: «... a rather limited area of distribution of Russian coal beyond the coal basins; the almost complete absence of transportation of hay over significant distances, despite the annual death of livestock from lack of feed; it is quite difficult to distribute salt over long distances, despite the abolition of the excise tax».

S. Yu. Witte noted «that between the market value of transportation, on the one hand, and the weight, equal to the volume of the goods, on the other hand, there cannot be any specific relationship, and therefore weight and volume, serving to express tariffs, do not may essentially serve to regulate them».

REFERENCES

1. Witte Sergei Yulievich. Principles of railway tariffs for transportation of goods [*Printsipy zheleznodorozhnykh tarifov po perevozke gruzov*]. Kyiv, Tip. I. N. Kushnereva i KO, 1883, 294 p.
2. Witte, S. Yu. Memories [*Vospominaniya*]. Moscow, Publishing house of socio-economic literature, Vol. 1–3, 1960.
3. Witte, S. Yu. Notes of lectures on the national and state economy given to His Imperial Highness Grand Duke Mikhail Alexandrovich in 1900–1902 [*Konspekt lektii o narodnom i gosudarstvennom khozyaistve, chitannykh ego imperatorskomu vysochestvu velikomu knyazyu Mikhailu Aleksandrovichu v 1900–1902*]. St.Petersburg, AO Brokgauz-Efron, 1912, XV, 568 p.
4. Witte, S. Yu. Regarding Leon Say's opinion on railway tariffs [*Po povodu mneniya Leon Say o zheleznodorozhnykh tarifakh*]. Inzhener. Kyiv. Published since 1882. – 1883. – Iss.1–12, pp. 9–13.
5. Russian ports and railway tariffs: App. Speech of Bismarck regarding the port of Libau, what he said at the 49th meeting of the Reichstag, February 14, 1885 [*Russkie porty i zheleznodorozhnie tarify: Pril Rech kn. Bismarka po povodu libavskogo porta, skazannaya im v 49 zasedanii Reikhsstaga, 14 fevralya 1885 goda*]. Kyiv: tip. S. V. Kulzhenko, tsenz. 1886. – 20, III p.; 28.
6. Witte, S. Yu. Collected essays and documentary materials: 5 volumes [*Sobranie sochenenii i dokumentalnykh materialov: V 5 t.*]. Ed. board: L. I. Abalkin (chair) et al. Moscow, Nauka publ., 2002–2007. ISBN 5-02-008394-1. ●

Information about the author:

Levin, Dmitry Yu., D.Sc. (Eng), Chief Expert of JSC NIIAS, Russia, levindu@yandex.ru.

Article received 19.04.2023, approved 02.06.2023, accepted 05.06.2023.



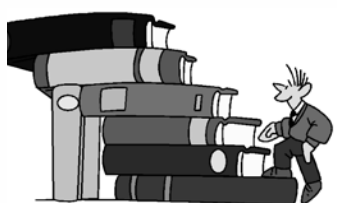
REVIEW

312

Seasonal unevenness of transportation.



BIBLIO-DIRECTIONS



SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES

314

- Interaction of freight car wheels and rails.
- Improving the energy efficiency of autonomous locomotives.
- Partial substitution of diesel fuel with hydrogen on diesel locomotives.
- Assessment of the load-bearing capacity of rigid aerodrome pavements.

NEW BOOKS

316

Recently published textbooks and monographs.





A Cure for Railway Employees' Headaches (Review of the Monograph «Economic Assessment of Seasonal Unevenness of Transportation»)



Irina A. Chernigina

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ cirinal23@yandex.ru

Irina A. CHERNIGINA

ABSTRACT

Macheret, D. A., Razuvaev, A. D., Ledney, A. Yu. Economic Assessment of Seasonal Unevenness of Transportation: Monograph [Ekonomicheskaya otsenka sezonnoi neravnomernosti perevozok: Moonografiya]. Moscow, Prometei publ., 2022, 142 p. ISBN 978-5-00172-334-9.

The monograph presents the results of a study of seasonal unevenness of transportation – one of the fundamental economic

problems of the transport industry. Using improved methodological tools for assessing seasonal unevenness, transportation by mode of transport was analysed. A scientifically based approach to determining the influence of seasonal unevenness of transportation on the economic efficiency of the use and development of transport infrastructure is disclosed. Attention is focused on assessing the value of transport infrastructure and the economic efficiency of its development, taking into account the unevenness of transportation.

Keywords: railway transport, transport infrastructure, seasonal unevenness of transportation, cargo transportation, passenger transportation.

The unevenness of transportation, either cargo or passenger, has always been a «headache» for transport workers, long called a necessary evil and causing a helpless shrug.

Indeed, what else «stresses» a business executive more than the need to maintain reserve resources for potential growth in production volumes? There are costs associated with both excess inventory and understocking. Railway businesses are no exception, especially considering the cost of the infrastructure they use.

There were, of course, attempts to combat unevenness – administrative, organisational, technological, and economic ones, but it was not possible to soften Her Majesty Unevenness.

The presented monograph makes a brilliant attempt to first understand this phenomenon, study it

from all sides, and only then use the research results in practical activities.

Let's say right away that there are many types of unevenness, it manifests itself in cargo traffic, and in passenger traffic, and in time, and in directions, but the subject of the study was a singular, the most significant type of unevenness in transportation – which is seasonal. In it, like a drop from the ocean, the authors tried to determine the main characteristics and scale of the problem.

The research begins «from the stove» – the unevenness coefficients used for decades (if not centuries!) are carefully examined. It would seem that there is something unclear here. Taking a closer look at these very coefficients, you can find that until now they have been calculated approximately, which in today's era of universal digitalisation is not even

For citation: Chernigina, I. A. A Cure for Railway Employees' Headaches (Review of the Monograph «Economic Assessment of Seasonal Unevenness of Transportation»). World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 5 (108), pp. 312–313. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-5-18>.

The full text of the review article in Russian is published in the first part of the issue.

Полный текст статьи-рецензии на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

possible to imagine. The most interesting thing is that the use of refined methods for calculating unevenness led to completely different conclusions about maximum transportation volumes.

Fans of macroeconomics will also be interested in assessment of the dependence of operating costs on the level of load of the railway infrastructure by season, which confirms the operation of the fundamental economic law of diminishing returns.

In the same series, there is convincing evidence of the accelerating growth of operating costs (and, accordingly, the cost of transportation) with an increase in the level of infrastructure load during the season of maximum traffic volumes and, consequently, a deterioration in the quality of use of rolling stock over time, primarily a decrease in train speeds. It's nice when everything that was previously considered obvious and explained in simple terms acquires the foundation of a mathematically proven theorem.

As a result of the research, the authors were able to construct a universal model of the influence of seasonal uneven loading of the railway infrastructure on the efficiency of its use and development. The use of this model makes it possible to assess both the effectiveness of using infrastructure in real conditions and, more importantly, to ensure informed planning of investments in its development for the future.

An indicative calculation of the impact of seasonal unevenness of transportation on the economic indicators of implementation of the Long-term Development Program of JSC Russian Railways until 2025 indicates the high elasticity of the effectiveness of investments in development of railway transport according to the unevenness of infrastructure load. (When the level of unevenness changes by 1 percentage point, the overall effect of investment changes by 5,5 to 7,2 %, and the return on capital investment changes from 1,95 to 2,2 percentage points, depending on the change in scenario uneven infrastructure load). This is an important and very concrete result.

What's especially gratifying is that the model is universal. Nothing prevents you from using it on all other types of transport. Due to the presented dependences of efficiency assessment indicators on seasonal unevenness of infrastructure load, it becomes possible to develop options for reducing the costs of transport activities and optimising infrastructure capacities.

As a touchstone of the theory – an analysis of unevenness of transportation during the coronavirus pandemic. This can be called the highlight of the study, confirming its universality.

Here is a pill for the long-standing «headache» of transport employees that was an uneven transportation. The recipe for use is simple:

1. More accurately analysis of the seasonal unevenness of transport infrastructure load, identifying the main factors influencing the unevenness indicators,



and determining the minimum achievable (or maximum permissible) level of seasonal unevenness.

2. On this basis, to predict seasonal unevenness for the future and develop measures to reduce it (prevent exceeding the maximum level).

3. Using the developed model, to assess the impact of seasonal unevenness of transportation on the economic results of both current and investment activities of railway transport.

The authors could well have stopped there and expected well-deserved applause, but...

Scientific work differs from practical recommendations in that it always contains groundwork for future research. In the best traditions of academic science, the monograph develops philosophical issues of determining the «value» of transport infrastructure and brilliantly proves that it in no way can be reduced to assessing its cost. Here we also propose (maybe not indisputably) methodological tools for assessing the value of railway infrastructure and its use to determine the effectiveness of infrastructural development.

The presented method for assessing the value of transport infrastructure based on the effects generated by implementation of cargo transportation for both the carrier – the owner of the infrastructure and for the owners of goods – allows us to significantly clarify the economic assessment of infrastructure in comparison with assessment of value according to financial statements. At the same time, it was revealed that the value of the railway infrastructure is sensitive to the unevenness of transportation and can be increased by reducing it.

There is something to think about both for the authors in their further research and for scientists interested in this issue.

In conclusion, I would like to note: will it be possible to get rid of unevenness as such (especially since there are both statistical and technological prerequisites for this), or will we find ways to level it out, including with the help of scientific approaches similar to those described in the monograph after a certain number of years? But it is simply necessary to note that in solving this problem many people have already stopped having headaches and undecieved themselves.

Information about the author:

Chernigina, Irina A., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Modern Technology of Social-Economic Education of Russian University of Transport, Moscow, Russia, sirina331@yandex.ru.

Article received 30.06.2023, approved 18.07.2023, accepted 20.07.2023.



**SELECTED ABSTRACTS
OF D.SC. & PH.D. THESES SUBMITTED
AT RUSSIAN TRANSPORT UNIVERSITIES**

*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/10.30932/1992-3252-2023-21-5-19>

Akashev, M. G. Refinement of the methodology for assessing the processes of interaction between cargo car wheels and rails using a strain gauge wheel set. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Utochnenie metodiki otsenki protsessov vzaimodeystviya koles gruzovogo vagona i relsov primeneniem tenzometricheskoi kolesnoi pary. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2023, 21 p.

Ensuring safety of railway traffic is an important problem, and the task of improving the methodology for assessing the processes of interaction between wheels and rails during features of a cargo car, considered in this thesis, is relevant.

The objective of the work is to improve the technology for assessing the condition of the track, as well as methods for assessing the impact of rolling stock on the track and the dynamic features of the rolling stock.

It has been established that the use of a strain-gauge wheel set provides sufficient accuracy and ample opportunities to perform long-term recordings of the forces of interaction between wheels and rails on a section of track of any length, necessary for the probabilistic analysis of these processes.

A finite element model of a strain-gauge wheel set of a cargo car was developed using the «Universal Mechanism» software package, which made it possible to perform calculations of its stress-strain state and determine the installation locations of strain gauges that make it possible to measure with the smallest errors the lateral and vertical forces at the points of contact of the wheels with the rails.

An object car was created, consisting of an empty tank car with an oncoming strain gauge wheel set, to identify dangerous sections of the track where there is a decrease in the safety factor of the wheel against derailment below the normalised value.

To test the identification of track sections that are dangerous due to wheel derailment conditions, field and operational tests of a specially formed experimental train were carried out, the latter consisted of a cargo car with a strain gauge wheel set, a track measuring car and a laboratory car with simultaneous recording of signals from all measuring devices.

A geometric-force method for assessing the condition of the track is proposed, which significantly complements the existing one, based on identifying deviations in the geometry of the rail track, since it allows one to determine sections of the track that are dangerous due to the conditions of derailment of the wheels of empty cars, which, according to existing standards, would be considered harmless for their movement.

Based on the results of experimental tests carried out on the railway network, a technology of a geometric-force method for assessing the state of the track has been developed and approved by JSC Russian Railways, which makes it possible to identify track sections in which the safety factor of the wheel against derailment decreases below the standard value of 1.3, set for cargo cars.

It is proposed that to determine the probabilistic characteristics of lateral forces, it is advisable to use a technique for isolating a random signal against a background of noise and represent their

recording as a product of two random processes: telegraphic and modified.

The results obtained showed that the use of a strain-gauge wheel set and the wheel-rail interaction processes determined with its help makes it possible to refine the assessment of the state of the track and indicators of impact on the track.

The prospect for further development of the topic is improvement of the strain gauge wheel set, the development of new schemes and methods that allow taking into account the influence of additional factors on the accuracy of determining the forces of interaction between the wheel and the rail.

2.9.3. – *Railway rolling, train traction and electrification.*

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Grebennikov, N. V. Scientific basis for increasing the energy efficiency of autonomous locomotives with electric power transmission. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis [*Nauchnie osnovy povysheniya energeticheskoi effektivnosti avtonomnykh lokomotivov s elektricheskoi peredachei moshchnosti. Avtoref. dis... dok. tekhn. nauk*]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2023, 40 p.

Objective of the work is development of new scientifically based technical solutions, concepts of structure and operating modes of traction equipment of locomotives with electric power transmission, ensuring increased energy efficiency of operation, based on methods for processing recorded information by on-board systems of locomotives.

Based on the analysis of the current state of the problem of operating efficiency of autonomous locomotives, it has been established that the energy efficiency of locomotives is standardised only for the full power of the diesel generator set, and the operating efficiency is assessed by specific fuel consumption per unit of transportation work, and the lower is the load on the axle of the car, the greater is the specific diesel fuel consumption, and therefore increased energy efficiency, cannot be achieved solely through creation of new powerful locomotives, and special attention should be paid to the operating modes of locomotive traction equipment, which will allow the power characteristics to be adjusted to operating conditions.

Analytically, patterns have been established that make it possible to determine the efficiency of traction electrical equipment of locomotives, depending on the current and output/input power. It has been proven that voltage regulation leads to a significant reduction in the energy efficiency of traction electrical and electromechanical energy converters on autonomous locomotives with electric power transmission.

By applying the energy approach, a methodology has been developed and theoretically substantiated for assessing the energy efficiency of operating autonomous locomotives with electric power transmission based on the passport data of traction equipment and parameters obtained from locomotive recorders.

Based on the analysis of operational data, it was established that the diesel generator set of cargo, passenger and shunting locomotives operates for a long time with loads of less than 50 %, this necessitates the use of multi-diesel power plants for locomotives of all types of traffic. The operating conditions of electric power transmission elements are determined and the underutilisation of energy efficiency of energy conversion is revealed, especially in direct and alternating-direct current transmissions, due to the low power utilisation factor of the diesel generator set and electric power transmission in general.

By applying the developed methodology for assessing the energy efficiency of operating autonomous locomotives and analysing the results obtained, a concept for increasing energy efficiency has been developed, substantiated and formulated, which is based on the principle of scalability of the traction equipment used in an autonomous locomotive depending on operating conditions.

The use of the finite element method for carrying out traction calculations is theoretically justified, allowing for the expansion of existing methods for carrying out traction calculations in order

to construct optimal train trajectories taking into account the operating modes of traction equipment of autonomous locomotives.

The reliability and adequacy of the accepted scientific principles in development of a complex computer model of an autonomous locomotive with a modular structure of electric power transmission has been experimentally proven by comparing the theoretical results of calculations on a computer model and the results of experimental studies of the layout of the traction module of electric power transmission.

The theoretical and experimental results of the thesis research found practical application in development of a set of traction electrical equipment for electric power transmission of an autonomous locomotive. The use of the proposed concept of a modular structure of traction equipment together with brushless electric traction machines made it possible to provide the necessary traction characteristics with high efficiency values (for a shunting locomotive) of both the traction motor up to 94,6 % and the entire electric power transmission as a whole up to 85,4 %, which was confirmed on an experimental sample of a set of traction electrical equipment for electric power transmission of an autonomous locomotive.

The results were used to modernise the traction drive of the TGM6A series shunting diesel locomotive, which made it possible to obtain high traction and energy characteristics of the modernised TEMP-1tt diesel locomotive. Acceptance and qualification traction tests of the TEMP-1tt diesel locomotive confirmed diesel fuel savings of up to 30 % and an increase in productivity by 25 %.

2.9.3. – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Rostov State Transport University.

Mishkin, A. A. Increasing the efficiency of diesel locomotives by replacing part of the diesel fuel with hydrogen using an on-board aluminum-hydrogen generator. Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti teplovozov putem zameshcheniya chasti dizelnogo topliva vodorodom s ispol'zovaniem bortovogo alyumovodorodnogo generatora. Avtoref. dis...kand.tekh.nauk]. Samara, SamGUPS publ., 2023, 24 p.

The objective of the thesis work was to increase the efficiency of locomotives by using an aluminum-hydrogen generator with development of technical and technological solutions for on-board hydrogen generation to transfer the operation of the power plant of a shunting diesel locomotive to a fuel-hydrogen mixture.

The analysis of the current state of the use of hydrogen as an additive and the main fuel for traction rolling stock showed that currently there is a problem with its effective use on locomotives, both from a technical point of view and from a safety point of view. It has been established that the most acceptable is the use of hydrogen as an additive to diesel fuel using on-board hydrogen production devices. It has been shown that the most effective method for on-board production of hydrogen on a diesel locomotive is the hydrolysis of aluminum.

The proposed methodology for calculating the energy characteristics of a mixed fuel based on diesel fuel and hydrogen makes it possible to determine the indicators of the operation of the power plant of a shunting diesel locomotive in different modes. Additionally, it makes it possible to establish the necessary quantitative additions of hydrogen according to the load characteristic, taking into account the mass flow rate of the hydrogen addition and the supplied heat from its combustion in the fuel-hydrogen mixture, as well as taking into account the power consumption for driving auxiliary equipment. It has been established that when replacing part of the diesel fuel with hydrogen during the operation of the locomotive power plant, it is optimal to use hydrogen additives from 1 % to 5 % at idle speed and at 1st, 2nd, 3rd positions of locomotive driver's controller (PKM), which makes it possible to increase the efficiency of the shunting diesel locomotive, based on the specifics and conditions of its operation in these modes, in which 70–90 % of the locomotive loading time is carried out.

The calculation of the components of the aluminum hydrolysis process based on the stoichiometric balance, and the identified model of the pattern of changes in the consumption of the required amount of hydrogen from the components of the hydrolysis process during the operation of the diesel locomotive power plant according to the load characteristic made it possible to determine the required amount of water, alkali and aluminum depending on the operating modes of the locomotive power plant. The required productivity of the on-board hydrogen production device was 0,09–0,91 kg/h with the established range of the required amount of aluminum (1,18–15,341 kg/h), water (1,877–24,395 kg/h) and alkali (1,389–18,054 kg/h) when the engine is operating at low load conditions (up to 3 PKM).

The developed algorithm for operation of the on-board system for producing and supplying hydrogen to the diesel engine of a locomotive and a set of patented technical means for generating hydrogen on board a shunting diesel locomotive can be adapted for replacement of part of the diesel fuel with hydrogen. This complex includes: a device for measuring indicator parameters in the cylinders of internal combustion engines, hydrogen generator (AHG) and an electronic control device for the joint supply of fuel and hydrogen additives. The developed and proposed technical solutions make it possible to use hydrogen as an additional fuel on locomotives according to the principle of «using hydrogen without hydrogen on board.» This, in turn, will allow us to move away from the use of on-board hydrogen storage systems, the operation of which is unsafe. The necessary requirements and measures have been formed to comply with the safe use of hydrogen during operation of a shunting diesel locomotive, which are aimed at reducing human factors and maximising the isolation of hydrogen from oxidizers.

Tests of the developed laboratory sample of AHG made it possible to establish the permissible temperature regime in the range of 60–70 °C, ensuring its optimal operation. The specific productivity for hydrogen was $8,95 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 (\text{m}^2 \cdot \text{s})$, the experimentally obtained hydrogen yield was 0,98–1,03 l/g. Experiments on the joint operation of the D-242 diesel engine and generator have shown a sufficient degree of development, which allows further research to test this technique on a diesel locomotive.

The resulting economic effect from the use of hydrogen produced and supplied as an additive to diesel fuel using the developed on-board AHG for one shunting diesel locomotive ChME3 amounted to 326024,19 rubles per year.

The scientific results of the thesis work can serve for technological, thermal and economic calculations when optimising and improving the operation of on-board devices (generators) for producing hydrogen for autonomous traction rolling stock.

2.9.3. – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Samara State Transport University.

Tsaplin, Ya. N. Improving the method for assessing the load-bearing capacity of rigid airfield pavements. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie metod otsenki nesushchei sposobnosti zhestkikh aerodromnykh pokrytiy. Avtoref. dis...kand.tekh.nauk]. Moscow, MADI publ., 2023, 16 p.

The objective of the study was to develop a method for assessing the load-bearing capacity of rigid concrete and reinforced concrete pavements, based on taking into account the characteristics of modern aircraft and the actual stress-strain state of airfield pavements to determine their operating modes.

It was revealed that existing methods for assessing the load-bearing capacity of airfield pavements do not take into account the characteristics of modern aircraft and the stochastic nature of the characteristics of operated airfield pavements.

A methodology has been developed for classifying aircraft by bending moments in the pavement, taking into account the characteristics of aircraft in terms of force effects on the pavement and allowing for comparison of loads from aircraft with standard load categories.



A numerical experiment to test the strength of the soil foundation showed that heavy types of aircraft can cause unacceptable stresses in the soil foundation of the concrete pavement. It is recommended for class I aircraft to additionally calculate the strength of the soil base of concrete and reinforced concrete pavements.

Methods have been developed for planning and processing test results of concrete and reinforced concrete pavements to determine statistical characteristics: elastic characteristics of the slab, bed coefficient and cross-sectional rigidity of the slab.

The methodology for determining the load-bearing capacity of concrete and reinforced concrete pavements based on the results of full-scale tests, considering the characteristics of aircraft supports, has been improved.

A software package has been developed for assessing the bearing capacity of concrete and reinforced concrete

pavements, taking into account the probabilistic and statistical variability of the basic arguments. It is recommended to use the programs in organisations involved in testing concrete and reinforced concrete pavements and assessing their load-bearing capacity.

The prospect for further development is to improve methods for assessing the bearing capacity of reinforced concrete monolithic and prefabricated airfield pavements, as well as asphalt concrete pavements.

2.1.8. – *Design and construction of roads, metro, airfields, bridges and transport tunnels.*

The work was performed at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), defended at Russian University of Transport. ●

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles in Russian is published in the first part of the issue.

Список изданий на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

Beloborodova, T. L., Paliy, N. V. Engineering graphics [Inzhenernaya grafika]. 3rd ed. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2023, 76 p. ISBN 978-5-7038-6106-6.

Budrina, E. V. [et al]. Transport Economics: Textbook [Ekonomika transporta: Uchebnik]. Ed. by E. V. Budrina. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Yurayt Publishing House, 2023, 390 p. ISBN 978-5-534-17444-1.

Galitskaya, A. A. An airport accessible to everyone [Aeroport, dostupnyi dlya vseh]. Moscow, Pero publ., 2023, 75 p. ISBN 978-5-00218-418-7.

Golov, R. S., Smirnov, V. G., Teplyshev, V. Yu. [et al]. Energy saving management at an industrial enterprise: Monograph [Upravlenie energosberezheniem na promyshlennom predpriyatii: Monografiya]. Ed. by D.Sc. (Economics), prof. R. S. Golov. Moscow, Dashkov i K^o, 2023, 457 p. ISBN 978-5-394-04644-5.

Khaibullov, K. A., Levchuk, V. I. Automated mechanical engineering technologies: Textbook [Tekhnologii avtomatizirovannogo mashinostroeniya: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 222 p. ISBN 978-5-0054-0174-8.

Kiryukhin, A. L., Maksimov, S. V., Tolstoy, S. I. Draft design and modernisation of ship power plants: Study guide [Eskiznoe proektirovaniye i modernizatsiya sudovykh energeticheskikh ustanovok: Ucheb. posobie]. Moscow, Infra-M publ., 2023, Part 1, 2023, 269 p. ISBN 978-5-16-017736-6.

Kosarina, E. I., Mikhailova, N. A., Demidov, A. A. [et al]. Digital technologies in X-ray non-destructive testing: Study guide [Tsifrovie tekhnologii v rentgenovskom derazrushayushchem kontrole: Ucheb. posobie]. Ed. by Academician of the Russian Academy of Sciences, prof. E. N. Kablov. Moscow, National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, 2023, 315 p. ISBN 978-5-905217-87-6.

Kubrin, S. S., Yapparov, E. R., Ivanov, I. M. Automatic information system: Study guide [Avtomaticheskaya informatsionnaya Sistema: Ucheb. posobie]. Moscow, Sam poligrafist publ., 2023, 91 p. ISBN 978-5-00166-906-7.

Mishchenko, A. V., Pilyugina, A. V. Methods of financial planning and assessing the effectiveness of management of production and financial activities of an enterprise: Monograph [Metody finansovogo planirovaniya i otsenki effektivnosti upravleniya proizvodstvenno-finansovoi deyatel'nostyu predpriyatiya: Monografiya]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 302 p. ISBN 978-5-16-017783-0.

Nechaev, A. S., Krasovskaya, O. A., Slobodnyak, I. A. [et al]. Financial support for technological innovations for effective management of enterprises and organisations: Monograph

[Finansovoe obespechenie tekhnologicheskikh innovatsii dlya effektivnogo upravleniya predpriyatiyami i organizatsiyami: Monografiya]. Irkutsk, Publishing house of IRNTU, 2023, 160 p. ISBN 978-5-8038-1849-6.

Oskina, G. N., Pavlova, O. N., Strashnov, S. V. Engineering graphics [Inzhenernaya grafika]. Moscow, RUDN publ., 2023, 24 p. ISBN 978-5-209-11715-5.

Perlova, O. N., Lyapina, O. P., Guseva, A. V. Design and development of information systems: Textbook [Proektirovaniye i razrabotka informatsionnykh sistem: Uchebnik]. 4th ed., rev. and enl. Moscow, Academia publ., 2023, 254 p. ISBN 978-5-0054-0414-5.

Pishchulov, V. M. Cyclicality of economic and financial development: Monograph [Tsiklichnost razvitiya ekonomiki i finansovoi sfery: Monografiya]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 211 p. ISBN 978-5-16-017885-1.

Prokofiev, S. E., Kameneva, E. A., Solyannikova, S. P. [et al]. Ecosystem of universities: transformation of the Russian education system: Monograph [Ekosistema vuzov: transformatsiya rossiiskoi sistemy obrazovaniya: Monografiya]. Ed. by D.Sc. (Economics), prof. S. E. Prokofiev; Financial University under the Government of the Russian Federation. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 483 p. ISBN 978-5-16-017986-5.

Sakhno, V. P., Lukichev, A. V., Kostenko, A. V. Performance properties of cars. Traction-speed and braking properties [Ekspluatatsionnie svoystva avtomobilei. Tyagovo-skorostnye i tormoznie svoystva]. Moscow, Publishing house: Lan, 2023, 444 p. ISBN 978-5-507-45389-4.

Savelyeva, E. A. Fundamentals of labour organisation in digital ecosystems: Study guide [Osnovy organizatsii truda v tsifrovyykh ekosistemakh: Ucheb. posobie]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 296 p. ISBN 978-5-16-015860-0.

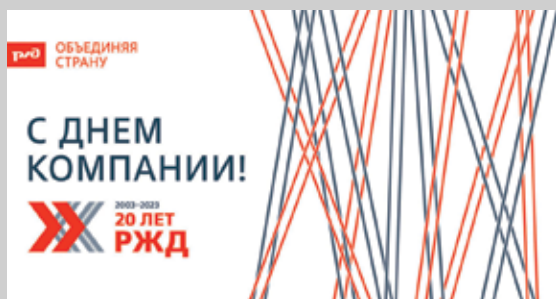
Shrubchenko, I. V., Duyun, T. A., Khurtasenko, A. V., Voronkova, M. N. Fundamentals of mechanical engineering technology: Study guide [Osnovy tekhnologii mashinostroeniya: Ucheb. posobie]. Moscow, INFRA-M publ., 2023, 270 p. ISBN 978-5-16-017776-2.

Sibirskaya, E. V., Oveshnikova, L. V., Bukhantseva, S. N., Xing Wang. Forms of business cooperation in the digital economy (in the context of the One Belt and One Road initiative): Monograph [Formy biznes-sotrudnichestva v tsifrovoy ekonomike (v kontekste initsiativy «Odn po yas i odin put»): Monografiya]. Moscow, MIREA – Russian Technological University, 2023, 206 p. ISBN 978-5-7339-1692-7.

Turkov, A. M., Smirnova, A. V., Izyumova, N. Yu. Planning and organisation of the logistics process in organisations (divisions) in various fields of activity: Textbook [Planirovaniye i organizatsiya logisticheskogo protsessa v organizatsiyakh (podrazdeleniyakh) razlichnykh sfer deyatel'nosti: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 252 p. ISBN 978-5-0054-0427-5.

Wader, Michael. Lean Manufacturing Tools II: A Pocket Guide to Implementing Lean Practices: Translated from English. 10th ed., rev. and enl. Moscow, Alpina PRO publ., 2023, 145 p. ISBN 978-5-9614-6533-4.

Compiled by Natalia OLEYNIK ●



С поздравлением к работникам и ветеранам компании обратились *Генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» О. В. Белозёров, председатель РОСПРОФЖЕЛ С. И. Черногаев, председатель Центрального совета ветеранов войны и труда железнодорожного транспорта Н. А. Никифоров:*

«Уважаемые коллеги! Дорогие ветераны! Поздравляем вас с юбилеем компании!»

20 лет назад, 1 октября 2003 года, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации, было создано открытое акционерное общество «Российские железные дороги».

Это событие положило начало большому и славному пути – от Министерства путей сообщения до современной, конкурентоспособной, высокотехнологичной компании, одной из крупнейших в России. За два десятилетия проделана поистине впечатляющая работа по консолидации железнодорожной отрасли, по её сохранению и развитию.

Сегодня мы с вами по праву можем гордиться достигнутыми результатами! ОАО «РЖД» прочно занимает лидирующие позиции среди ведущих железнодорожных компаний мира по производственным и эксплуатационным показателям, внедрению инноваций и передовых научно-технических решений, безопасности, энергоэффективности и экологичности перевозок, сохранению благоприятной окружающей среды.

В юбилейном году наши достижения отмечены на самом высоком уровне. Указом Президента Российской Федерации коллектив ОАО «РЖД» награждён Почётным знаком «За успехи в труде».

Компания реализует масштабные и крайне значимые для нашей страны проекты. Несмотря на внешние вызовы, мы продолжаем наращивать темпы перевозок, последовательно решаем

задачи по расширению пропускной способности Восточного полигона, осваиваем новые логистические направления – вносим свой вклад в противодействие санкционному давлению.

Российские железные дороги воплощают в жизнь множество программ по развитию науки, образования и медицины. В числе наших основных приоритетов – цифровая трансформация, развитие высокоскоростного движения, искусственного интеллекта, квантовых коммуникаций и достижение технологической независимости.

С момента своего создания ОАО «РЖД» является социально ответственной компанией, остаётся передовиком в вопросах поддержки работников, их семей и ветеранов, в развитии волонтерства, массового спорта и здорового образа жизни.

За всеми успехами Российских железных дорог стоит каждодневный добросовестный труд нашей многотысячной команды – настоящих профессионалов своего дела, чьи глубокие знания, богатый опыт, полная самоотдача и стремление достичь наилучшего результата являются залогом уверенного движения вперёд.

Уважаемые коллеги! Благодарим вас за вклад в развитие ОАО «РЖД», преданность общему делу и интересам страны! Вместе мы неизменно добиваемся отличных результатов на благо России и ее граждан. Вне всяких сомнений – так будет и впредь.

Особую признательность выражаем ветеранам отрасли, которые своим многолетним самоотверженным трудом заложили надежную основу для успехов компании сегодня.

Дорогие друзья! За прошедшие 20 лет сделано немало, но мы убеждены, что главные достижения у коллектива ОАО «РЖД» еще впереди.

В этот знаменательный день желаем всем нам новых трудовых побед и свершений! Пусть работа в Российских железных дорогах принесит только радость, чувство профессионального удовлетворения, уверенность в настоящем и будущем!

Счастья, крепкого здоровья и благополучия вам и вашим близким! С праздником, с Днём компании!»

**По материалам
пресс-центра ОАО «РЖД»:
<https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=287634> ●**



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 21, Iss. 5, 2023

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 >