

ТРАНСПОРТ **МИР**

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

1 2023
Том / Vol. 21



ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ ОТМЕЧАЕТ 100-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ

9 февраля 2023 года исполняется 100 лет со дня основания отечественной гражданской авиации. Указ о праздновании юбилейной даты подписал Президент Российской Федерации Владимир Путин.

100 лет назад, 9 февраля 1923 года Совет труда и обороны СССР принял постановление «О возложении технического надзора за воздушными линиями на Главное управление воздушного флота и об организации Совета по гражданской авиации». 17 марта 1923 года появился «Добролёт» – первое добровольное воздушное общество, развивавшееся за счёт взносов граждан. Таким образом, российская авиация родилась благодаря поддержке народа, который, несмотря на трудности того времени, объединился ради общей цели – создания необходимой стране отрасли.

На протяжении века в нашей стране трудились выдающиеся авиаконструкторы и авиаторы, которые определяли не только российскую, но и мировую авиационную отрасль. Среди них – Андрей Туполев, Александр Яковлев, Павел Сухой, Сергей Ильюшин, Михаил Миль, и многие другие. С их идеями, конструкторскими задумками и талантом мир, индустриализация, мобильность пассажиров получили новый виток и новые темпы движения вперёд.

Сегодня российская гражданская авиация стала одной из самых важных отраслей не только транспортного комплекса, но и всей экономики России. Услугами гражданской авиации ежедневно пользуются миллионы россиян, реализуя свои задачи по бизнесу или поддерживая тёплые отношения со своими родными и близкими. Только за 2022 год российскими авиакомпаниями перевезено свыше 95 млн человек.

9 февраля с представителями отрасли гражданской авиации провёл встречу Президент Российской Федерации В. В. Путин. Мероприятие было приурочено к празднованию столетия отечественной гражданской авиации.

«Мы с вами встречаемся в день, когда отмечается 100-летие гражданской авиации России. Хочу от души поздравить вас, всех ваших коллег, ветеранов и тех, кому только предстоит ещё работать в отрасли, со столь значительной вехой в развитии российской, отечественной авиации,

в данном случае гражданской авиации», – сказал Президент.

Глава государства отметил модернизацию Единой системы организации воздушного движения. «Эта работа шла в рамках соответствующей федеральной целевой программы, и созданные укрупнённые региональные центры Единой системы позволяют увеличить пропускную способность воздушного пространства России и повысить безопасность полётов», – подчеркнул Президент.

В течение последних 11 лет в России была создана обновлённая система аэронавигации. 104 действовавших районных центра организации воздушного движения были заменены на 14 укрупнённых региональных центров. Они расположены в Москве, Санкт-Петербурге, Ростове-на-Дону, Самаре, Екатеринбурге, Тюмени, Новосибирске, Красноярске, Иркутске, Якутске, Хабаровске, Магадане, Калининграде и Симферополе.

Все центры ЕС ОрВД оснащены современными техническими средствами отечественного производства, включая автоматизированную систему управления воздушным движением последнего поколения.

«Хочу подчеркнуть, что мы и дальше будем развивать аэродромную, транспортную, навигационную инфраструктуру страны и строить современные аэропорты, реконструировать имеющиеся. Это, безусловно, масштабные государственные планы, которые идут в полном соответствии с нашими национальными целями развития», – отметил В. В. Путин по итогам прозвучавших докладов. – К концу этого года должна быть реконструирована инфраструктура 18 аэропортов, а в следующем году – ещё 16». В. В. Путин также подчеркнул, что модернизация аэропортовой сети является хорошим стимулом для развития регионов и России в целом. «Это более комфортная жизнь для людей, для того чтобы обеспечить их передвижение по нашей огромной стране. Это делается для того, чтобы люди могли передвигаться комфортно и «сшивать» огромное пространство с экономической точки зрения», – отметил Президент.

По материалам

<http://kremlin.ru/events/president/news/70484>;
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10618>;
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10603> ●

Фото на первой обложке: https://www.rossiya-airlines.com/about/contacts/Press_centр/photobank/.

Front cover photo: https://www.rossiya-airlines.com/about/contacts/Press_centр/photobank/.

ТРАНСПОРТ МИР

1 2023
(104)

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ТЕХНИКА

- Николай ГРЕБЕННИКОВ, Александр ЗАРИФЬЯН*
Концепция повышения энергоэффективности автономных локомотивов 6
- Таисия ШЕПИТЬКО, Игорь АРТЮШЕНКО*
Оценка влияния сезонно-действующих охлаждающих устройств на теплофизические процессы грунтов основания железнодорожной насыпи 14
- Андрей КОСМОДАМИАНСКИЙ, Владимир ВОРОБЬЁВ, Олег ИЗМЕРОВ, Дмитрий РАСИН, Дмитрий ШЕВЧЕНКО*
Вопросы создания равнопрочных двухслойных сферических резинометаллических шарниров 22

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

- Артур КАРЛОВ*
Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход 32
- Тэн ЧЖАН*
Тенденции развития китайско-российских отношений в сфере железнодорожного транспорта 40
- Филипп СУХОВ, Вера ЗВЕРКОВА*
Оценка аспектов устойчивого развития в деятельности транспортных компаний. 49
- Алексей ТЯПУХИН*
Структура методов управления организацией в цепи создания ценности 55
- Василий ЖУКОВ*
Имитационная модель управления сбойной ситуацией в аэропорту 67
- Александр МАРТЫНЕНКО, Денис САЙФУТДИНОВ*
Адекватность гравитационной модели для железнодорожных пассажиропотоков 75

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Б. М. Лалидус – доктор экономических наук, профессор

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –

главный редактор

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –

первый заместитель главного редактора

ЧЛЕНЫ

РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –

д.т.н., доцент РУТ

Л. А. БАРАНОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

Г. В. БУБНОВА –

д.э.н., профессор РУТ

Ю. А. БЫКОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Б. ЗЫЛЁВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. И. КОНДРАЩЕНКО –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

А. А. ЛОКТЕВ –

д.ф-м.н., профессор РУТ

С. Я. ЛУЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

О. Е. ПУДОВИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Н. СИДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

Н. П. ТЕРЁШИНА –

д.э.н., профессор РУТ

В. С. ФЁДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. М. ФРИДКИН –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

В. А. ШАРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. К. ШЕЛИХОВА –

руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

И. А. ГЛАЗОВ –

редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –

технический редактор

М. В. МАСЛОВА –

английский перевод

При перепечатке ссылка

на журнал «Мир транспорта» обязательно.

© «Мир транспорта», 2023

Александр ЗЕМЛИН, Андрей ШИНКАРУК, Елена ВИШНЯКОВА

Правовые и технологические аспекты внедрения контракта жизненного цикла в пассажирском комплексе дальнего следования. 87

Максим КОПЫЛОВ

Разработка унифицированного программного алгоритма подготовки к перевозке крупногабаритных грузов. 91

БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

Анна САРГИНА, Надежда СЕДОВА

Отслеживание доступности показателей по ЦУР 9.1 по транспортной инфраструктуре на примере стран-участников G20 102

Эдуард ЦХОВРЕБОВ

Новые подходы к повышению защищённости городской среды от транспортных аварий на основе использования безопасных материалов 110

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Лидия ЕНОВА, Екатерина КУЛИКОВА

Памяти студенток МИИТ – бойцов 19 отдельного батальона ВНОС посвящается... 118

Пресс-архив

Проект положения о движении поездов по русским железным дорогам (паровозным), открытым для общественного пользования (1892 год) 126

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Сергей ГЛУШАЧЕНКО, Роман ЗЕЛЕПУКИН

Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трёхтомную монографию «Военное право») 134

Авторефераты диссертаций 138

Новые книги о транспорте 144

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 21.03.2023.

Тираж 150 экз. Цена свободная.

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

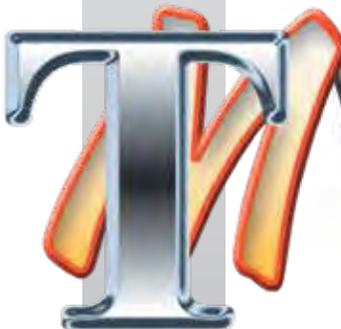
Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно

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. 1

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

SCIENCE AND ENGINEERING

- Nikolay V. GREBENNIKOV, Alexander A. ZARIFYAN*
Energy Efficiency Improvement Concept for Autonomous
Locomotives 146
- Taisia V. SHEPITKO, Igor A. ARTYUSHENKO*
Evaluation of Influence of Seasonally Operating Cooling
Devices on Thermophysical Processes of Soils of Railway
Embankment Foundation 154
- Andrey S. KOSMODAMIANSKY, Vladimir I. VOROBIEV,
Oleg V. IZMEROV, Dmitry Yu. RASIN, Dmitry N. SHEVCHENKO*
Issues of Developing Equal-Strength Two-Layer
Spherical Rubber-Metal Hinges 162

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS

- Artur V. KARLOV*
Decision-Making Methods in Transport Policy:
a Multi-Criteria Approach. 172
- Teng ZHANG*
Trends in Development of Chinese-Russian Relations
in the Field of Railway 180
- Philip I. SUKHOV, Vera M. ZVERKOVA*
Assessment of Sustainable Development Aspects
in Transport Companies Activities 188
- Alexey P. TYAPUKHIN*
The Structure of Organisation Management
Methods in the Value Chain 194
- Vasily E. ZHUKOV*
Simulation Model for Airport Disruption Management 205
- Alexander V. MARTYENKO, Denis Zh. SAIFUTDINOV*
Adequacy of the Gravity Model of Railway Passenger Flows. 213

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief

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

BOARD MEMBERS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office

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

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

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

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta

© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2023. All rights reserved

*Alexander I. ZEMLIN, Andrey S. SHINKARUK,
Elena P. VISHNIAKOVA*

Legal and Technological Aspects of Life Cycle
Contract Implementation in the Long-Distance
Passenger Rail Transportation. 224

Maksim A. KOPYLOV

Development of a Harmonised Software Algorithm
to Prepare to Transport Oversized Cargo 228

SAFETY AND SUSTAINABILITY

Anna V. SARGINA, Nadezhda V. SEDOVA

Tracking Availability of SDG 9.1 Indicators
Regarding Transport Infrastructure Using
the Example of G20 Member Countries 238

Eduard S. TSKHOVREBOV

New Approaches to Improving Protection
of the Urban Environment from Transport Accidents
Based on the Use of Safe Materials 246

HISTORY WHEEL

Ekaterina B. KULIKOVA, Lidia E. ENOVA

Dedicated to the Memory of MIIT Students –
Fighters of 19 Separate ASWC Battalion. 254

Editorial | Archived Publication

Draft Regulation on the Train Traffic on Russian Railways
(Steam Locomotives' Railways) Open for Public Use (1892) 262

BIBLIO-DIRECTIONS

Sergey B. GLUSHACHENKO, Roman V. ZELEPUKIN

Military Legal Knowledge for Future Transport Employees
(Review of the Three Volume Monograph «Military Law») 270

Selected Abstracts of Ph.D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 274

New Books on Transport and Transportation 280

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

104 issues have been published since 2003.

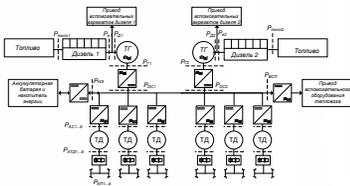
Current issues are circulated in 200 hard copies available on subscription.

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

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

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

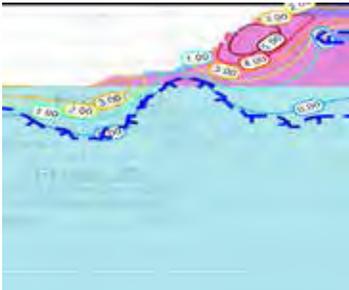
Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.



ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

6

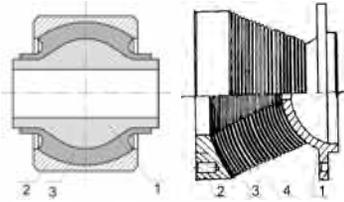
Энергоэффективность автономных локомотивов. Модульные конструкции.



ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

14

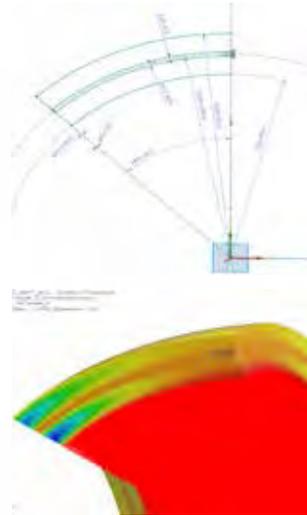
Железнодорожные насыпи на Крайнем Севере: охлаждающие устройства и теплофизические свойства грунтов.

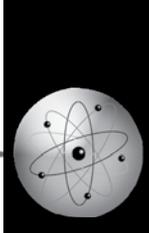


ТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНИКА

22

Сферические резинометаллические шарниры. Моделирование для повышения прочности.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.4.016.2

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

Концепция повышения энергоэффективности автономных локомотивов



Николай ГРЕБЕННИКОВ



Александр ЗАРИФЬЯН

**Николай Вячеславович Гребенников¹,
Александр Александрович Зарифьян²**

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

✉ ¹ grebennikovnv@mail.ru.

¹ РИНЦ: 3724–9891, Scopus: 56584746500,

Web of Science: A-2769–2014,

ORCID: 0000–0001–5959–2547.

² ORCID: 0000–0002–3072–8196.

АННОТАЦИЯ

Вопросам повышения энергоэффективности железнодорожного транспорта уделяется много внимания, предлагаются различные конструкции тягового подвижного состава с самыми передовыми техническими решениями, но, к сожалению, многие из них так и остаются лишь на стадии разработки или опытного образца.

Приведён анализ опыта эксплуатации существующих магистральных локомотивов с целью разработки основополагающих принципов концепции повышения энергоэффективности автономных локомотивов, направленных на создание модульной структуры локомотива, позволяющих согласовывать эксплуатационные нагрузки с режимами работы тягового оборудования, что даёт возможность обеспечить наи-

лучшие условия преобразования и передачи энергии на колёсные пары. Современные бортовые системы локомотивов регистрируют большое количество параметров, которые можно использовать как для определения энергоэффективности работы локомотива, так и для оценки новых технических решений, направленных на применение дискретно-адаптивного управления работой модульного исполнения дизель-генераторных установок и тяговых электродвигателей в условиях эксплуатации магистральных локомотивов.

Реализация предлагаемой концепции позволяет сэкономить до 20 % дизельного топлива при выполнении перевозочной работы, что подтверждено на опытном образце локомотива.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, энергоэффективность, локомотив, тепловоз, коэффициент полезного действия, модульная структура, тяговое оборудование.

Для цитирования: Гребенников Н. В., Зарифьян А. А. Концепция повышения энергоэффективности автономных локомотивов // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-21-1-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности отраслей промышленности является важной и приоритетной задачей¹, решение которой способствует росту и развитию экономики Российской Федерации. Транспорт играет важнейшую роль при транспортировке грузов и готовой продукции между предприятиями и потребителями, при этом на долю железнодорожного транспорта приходится в нашей стране до 87 % грузооборота транспортных средств. Поэтому вопросы повышения энергоэффективности эксплуатации локомотивов всегда актуальны, что подтверждается утверждёнными энергетическими стратегиями развития холдинга «Российские железные дороги»², направленными на повышение тяговых свойств локомотивов при снижении затрат на электроэнергию и дизельное топливо в среднем на 10 %.

В настоящее время во многих странах ведутся активные работы по поиску оптимальных технических решений для создания энергоэффективных локомотивов [1; 2] с различными вариантами исполнения тягового оборудования [3]. Основные направления в этой области направлены на переход к многодизельным силовым установкам [4–8], применение асинхронного привода и накопителей энергии [9–11].

Обзор литературных источников в области опыта эксплуатации маневровых и магистральных локомотивов показал, что:

- на сегодняшний день превалирует констатация низкой энергетической эффективности маневровых и мощных современных магистральных локомотивов, особенно при работе с легковесными поездами [12; 13]. Несмотря на разработки многодизельных локомотивов с бесколлекторным тяговым приводом преимущественно выпускаются однодизельные маневровые тепловозы с передачей мощности постоянного тока и однодизельные (в секции) магистральные тепловозы с передачей мощности переменного постоянного тока;
- повышение энергоэффективности перевозочного процесса не может быть достигну-

¹ Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.

² См., напр.: Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). – Москва: ОАО «РЖД». – 2015. – 128 с.

то только лишь за счёт создания новых мощных локомотивов, так как особое внимание стоит уделять режимам работы тягового оборудования локомотивов, что позволит привести мощностные характеристики в соответствие с условиями эксплуатации [14], а также усовершенствовать алгоритмы работы тягового и вспомогательного оборудования [15];

– существует целый ряд энергетических показателей для автономных локомотивов, которые нормируются только для полной мощности локомотива при скоростях движения от 40 до 90 % конструкционной скорости, при этом эксплуатационная эффективность оценивается только по показателю удельного расхода топлива на единицу перевозочной работы, исходя из которого трудно оценить непосредственно эффективность автономного тягового подвижного состава [16].

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, является разработка основополагающих принципов концепции повышения энергоэффективности автономных локомотивов, направленных на создание модульной структуры локомотива, позволяющих согласовывать эксплуатационные нагрузки с режимами работы тягового оборудования для обеспечения наилучших условий преобразования и передачи энергии на колёсные пары.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ энергоэффективности тягового оборудования в условиях эксплуатации

При проведении реостатных испытаний тепловоза можно получить зависимость коэффициента полезного действия (КПД) дизель-генераторной установки от мощности или позиции контроллера машиниста (ПКМ), из которой видно, что КПД меняется достаточно в широком диапазоне, как правило, от 25 до 37 %. Используя данные, полученные для дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ25К^М, определена зависимость перерасхода дизельного топлива от используемой позиции контроллера машиниста, которая представлена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что работа дизель-генераторной установки тепловоза 2ТЭ25К^М на низких позициях контроллера машиниста приводит к существенному перерасходу дизельного топлива.





Рис. 1. Перерасход дизельного топлива в зависимости от позиции контроллера машиниста [выполнено авторами].

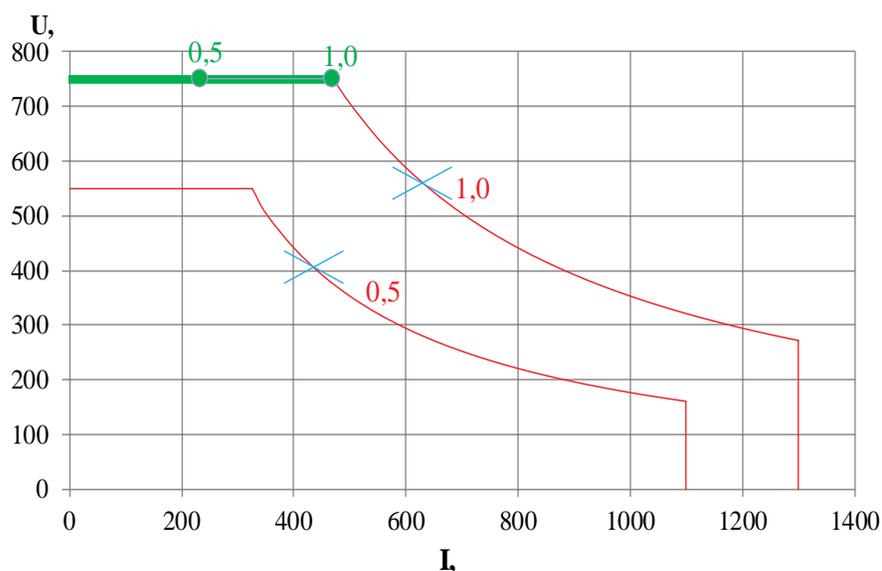


Рис. 2. Внешняя и частичная характеристики тягового генератора [выполнено авторами].

Так же причиной снижения энергоэффективности локомотива является управление электрической передачей мощности по напряжению, что приводит к увеличению токовой нагрузки тяговых электрических машин и, как следствие, к существенному увеличению доли потерь, зависящих от квадрата тока:

$$\eta_{ТЭМ} = 1 - \frac{I_{ТЭМ}^2 \cdot r + \Delta P_{\text{пост}}}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + I_{ТЭМ}^2 \cdot r + \Delta P_{\text{пост}}}, \quad (1)$$

где $I_{ТЭМ}$ – ток тяговой электрической машины;

r – приведённое сопротивление, учитывающее как омические потери, так и другие потери, зависящие от квадрата тока;

$\Delta P_{\text{пост}}$ – величина условно-постоянных потерь;

P_1 – входная мощность (для двигателя $P_1 = U \cdot I$);

P_2 – выходная мощность (для генератора $P_2 = U \cdot I$).

Из формулы (1) видно, что при применении регулирования по напряжению, изменяется подводимая мощность, но при этом потери мощности в электрической машине остаются такими же, что приводит к существенному снижению энергоэффективности тяговых электрических машин (тягового генератора и тягового двигателя). Это особенно актуально при применении классической гиперболической внешней характеристики для электрических

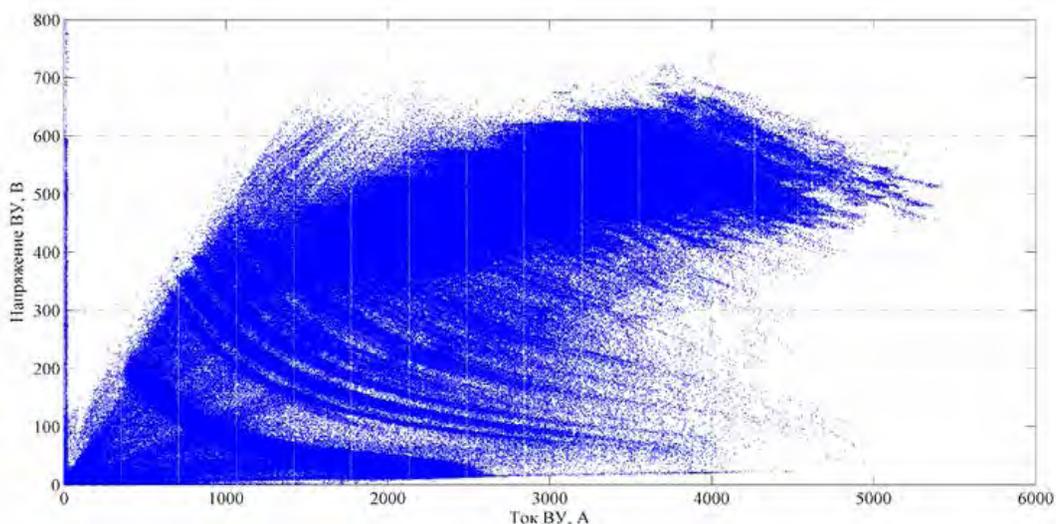


Рис. 3. Поле рабочих точек тягового генератора тепловоза ТЭП70БС [выполнено авторами].

передач постоянного или переменного тока (рис. 2). С точки зрения минимизации потерь, зависящих от квадрата тока, целесообразно применять внешнюю тяговую характеристику в виде прямой линии, при фиксированном значении напряжения, что представлено зелёной (верхним прямым отрезком на черно-белом изображении) линией на рис. 2.

Проведённый анализ данных, регистрируемых бортовыми системами тепловозов ТЭП70БС, 2ТЭ25К^М, подтвердил, что продолжительное время тяговые электрические машины работают с высокими значениями токов при низких значениях напряжений. В качестве примера можно привести поле рабочих точек тягового генератора тепловоза ТЭП70БС (рис. 3).

Проведённый анализ данных для 2ТЭ25А с электрической передачей переменного тока и асинхронным тяговым приводом показал, что каждой позиции контроллера машиниста соответствует свой уровень напряжения синхронного генератора, который поддерживается системой управления тепловоза, что представлено на рис. 4.

По результатам обработки данных выявлено, что поддержание фиксированного значения напряжения для каждой позиции позволило существенно уменьшить потери, что обеспечило повышение эксплуатационного КПД синхронного тягового генератора тепловоза 2ТЭ25А на 2,5 % по сравнению с аналогичным генератором, применяемым на тепловозе ТЭП70БС.

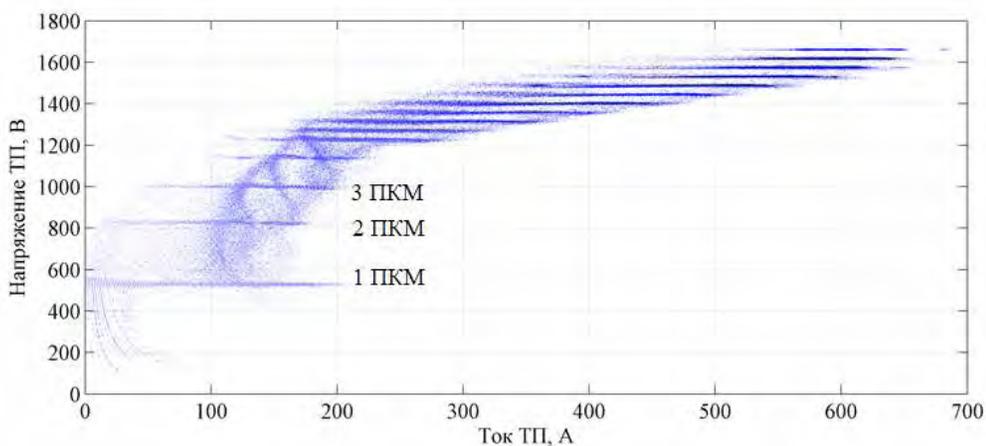


Рис. 4. Поле рабочих точек тягового генератора тепловоза 2ТЭ25А [выполнено авторами].



Проведённый анализ энергоэффективности работы тепловозов различного рода службы (грузового, пассажирского и маневрового) в условиях эксплуатации показал, что:

- большая доля времени приходится на работу дизельного двигателя на холостом ходу: 40...50 % времени независимо от рода службы;
- эксплуатационный коэффициент полезного использования мощности для маневрового тепловоза составляет 0,02;
- эксплуатационный коэффициент полезного использования мощности для магистральных тепловозов составил 0,24...0,3;
- управление передачей мощности по гиперболической характеристике увеличивает долю омических потерь во всех силовых элементах электрической передачи мощности.

Концепция повышения энергетической эффективности

Концепция повышения энергетической эффективности автономных локомотивов заключается в разработке конструкции локомотива, позволяющей оперативно осуществлять принцип масштабируемости нагрузки, то есть, способности распределённой системы легко расширять и сокращать свои ресурсы для адаптации к более тяжёлым или более лёгким нагрузкам, а использование тягового и вспомогательного оборудования локомотива должно соответствовать текущим условиям работы локомотива.

Поэтому при разработке структурных схем перспективного автономного тягового подвижного состава должны учитываться следующие основные положения концепции повышения энергетической эффективности автономных локомотивов:

- применение модульных энергетических установок, позволяющих обеспечить требуемую мощность в соответствии с текущими условиями движения. Наиболее перспективным видится применение двух (для грузового локомотива) и четырёх (для пассажирского и маневрового локомотива) энергетических установок на одной секции локомотива. Количество энергетических установок на грузовых тепловозах обусловлено количеством секций тепловоза, то есть, для двухсекционного локомотива будет четыре энергетических установки, а для трёхсекционного – шесть энергетических установок;

- применение общего звена постоянного напряжения (тока) с фиксированным значением напряжения (не менее 600 В) для всех режимов работы тягового и вспомогательного оборудования, что позволит выработать единые требования для разработки, проектирования и модульной структуры оборудования локомотива и обеспечить снижение доли потерь, зависящих от токовой нагрузки, кроме этого становится возможным использование тягового генератора в режиме стартера для запуска дизеля и модернизированной штатной аккумуляторной батареи с тяговыми аккумуляторами как накопителя энергии, для кратковременных режимов нагружения;

- питание тяговых бесколлекторных двигателей осуществляется от автономных инверторов напряжения статических преобразователей, подключённых к звену постоянного напряжения. Управление инверторами – индивидуальное с поосным регулированием момента тяговых двигателей, с возможностью полного отключения;

- применение двухуровневого дискретно-адаптивного управления [14] энергетической эффективностью автономного тягового подвижного состава при работе с неполной нагрузкой, что позволит рационально использовать доступную мощность каждого элемента тягового оборудования локомотива [17];

- питание вспомогательного оборудования должно обеспечиваться многоканальными статическими преобразователями с независимыми каналами, позволяющими индивидуально управлять каждым элементом вспомогательного оборудования, это позволит добиться упрощения и унификации преобразователей собственных нужд и снизить затраты энергии на привод вспомогательных машин и агрегатов;

- применение накопителей энергии целесообразно только после обеспечения рациональных алгоритмов прямого и обратного электромеханического преобразования энергии в тяговых электрических машинах и рационального расхода энергии на собственные нужды, что требует сначала применения вышеизложенных основных положений.

Функциональная схема энергоэффективной передачи мощности на примере тепловоза приведена на рис. 5. В соответствии с функциональной схемой энергоэффективной передачи мощности тепловоза предусмотрено общее звено постоянного напряжения, к ко-

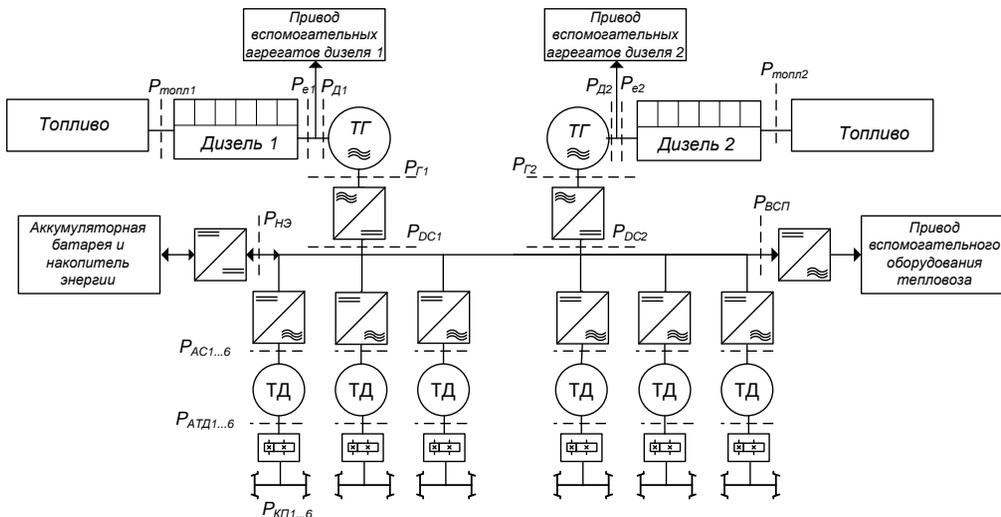


Рис. 5. Функциональная схема энергоэффективной ЭПМ [выполнено авторами].

тому подключаются все компоненты тягового оборудования, такое решение позволяет реализовать принцип модульной структуры, можно использовать две, как показано на рис. 5, или четыре энергетические установки, работающие на общее звено постоянного напряжения. Окончательный выбор количества дизель-генераторных установок обусловлен условиями профиля пути, потоком грузоперевозок и родом службы локомотива. От звена постоянного напряжения через многоканальные управляемые преобразователи собственных нужд получают питание электрические машины собственных нужд.

От звена постоянного напряжения через DC-DC преобразователь получают питание аккумуляторная батарея и цепи управления локомотивом, так же DC-DC преобразователь предназначен для преобразования напряжения при использовании накопителя энергии небольшой ёмкости для обеспечения кратковременных режимов работы с целью исключить непродолжительные запуски второй или последующей энергетической установки локомотива. Таким образом, в энергоэффективной передаче мощности локомотива должны использоваться не только современные бесколлекторные электрические машины, но и должно быть реализовано управление энергетической эффективностью тягового и вспомогательного оборудования путём многоуровневой оптимизации режимов работы оборудования (модульная энергетическая установка, тяговые двигатели, вспомогательное оборудование) в условиях реальной эксплуатации, что позволит существенно повы-

сить энергоэффективность автономного тягового подвижного состава.

Оценка применения концепции для условий эксплуатации

Рассмотрим возможность применения многодизельной силовой установки для магистральных локомотивов на сети железных дорог ОАО «РЖД», для этого проведены исследования количества и общей продолжительности поездок (разгон-движение-остановка) для магистральных локомотивов, в зависимости от максимально используемой позиции контроллера машиниста. На рис. 6 представлено семейство кривых скорости при движении тепловоза 2ТЭ25К^М с максимальной 5-й позицией контроллера машиниста. В результате выявлено 87 поездок за рассматриваемый период с максимальной продолжительностью до 1,65 часа. Общее время таких поездок составило 25,62 часа.

Анализ результатов исследований показал, что применение двухдизельной энергетической установки на магистральных локомотивах целесообразно, так как примерно в 30 % поездок грузового движения дизель-генераторная установка используется с КИМ не более 0,5, а в пассажирском – до 23 % поездок.

При возможности оперативного управления работающими дизель-генераторными установками в процессе движения доля времени, приходящаяся на режимы с КИМ не более 0,5, увеличивается до 50...60 %. На основе обработки данных произведена оцен-



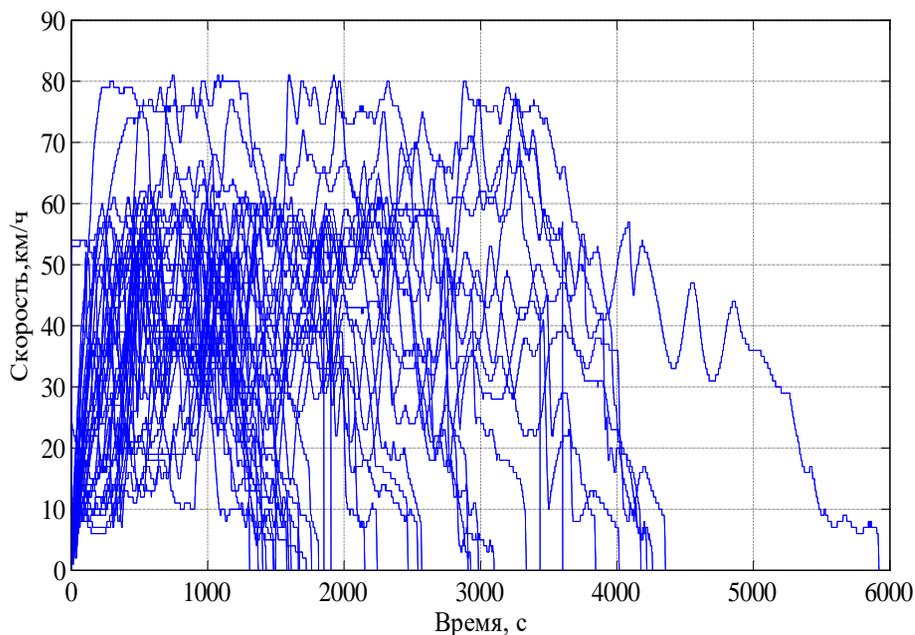


Рис. 6. Семейство кривых скорости при движении тепловоза 2ТЭ25КМ с максимальной 5-й ПКМ [выполнено авторами].

ка времени работы дизель-генераторных установок в составе модульного исполнения (результаты представлены в таблице 1), а также времени работы тяговых двигателей (ТЭД) при возможности применения системы дис-

кретно-адаптивного управления, что отражено в таблице 2.

Анализ представленных в таблицах 1 и 2 результатов показывает необходимость применения предлагаемой концепции для маги-

Таблица 1

Время работы модулей ДГУ для различного исполнения [выполнено авторами]

Вариант модульной ДГУ для одной секции тепловоза		Время работы модулей ДГУ, %		
		2ТЭ25КМ	2ТЭ25А	ТЭП70БС
Двухдизельная	1 ДГУ (0,5 Pн)	73	58	60
	2 ДГУ (1,0 Pн)	27	42	40
Трёхдизельная	1 ДГУ (0,25 Pн)	55	48	51
	2 ДГУ (0,5 Pн)	18	10	9
	3 ДГУ (1,0 Pн)	27	42	40
Четырёхдизельная	1 ДГУ (0,25 Pн)	55	48	51
	2 ДГУ (0,5 Pн)	18	10	9
	3 ДГУ (0,75 Pн)	17	19	18
	4 ДГУ (1,0 Pн)	10	23	22

Таблица 2

Время работы ТЭД [выполнено авторами]

Количество ТЭД в тяге	Время работы ТЭД, %		
	2ТЭ25КМ	2ТЭ25А	ТЭП70БС
1	41,4	22,4	30,4
2	20,8	15,9	11,8
3	12	15,9	12,5
4	8	12,2	11,4
5	16,8	19,2	29,9
6	1	14,4	4

стральных локомотивов, так как продолжительное время тяговое оборудование локомотива работает в режимах с неполной нагрузкой, что приводит к снижению энергоэффективности преобразования энергии на локомотиве.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ опыта эксплуатации магистральных тепловозов показал необходимость применения модульных конструкций тягового оборудования автономных локомотивов, что лежит в основе предложенной концепции повышения энергетической эффективности. По результатам данных бортовых регистраторов локомотивов определено время работы основного тягового оборудования и произведена оценка применения предлагаемой концепции для текущих условий эксплуатации. Получено, что возможно добиться экономии дизельного топлива до 20 %, из которых 10 % – за счёт повышения эксплуатационного КПД электрической передачи мощности и 10 % – за счёт применения модульных дизель-генераторных установок.

К настоящему времени предлагаемая концепция реализована при глубокой модернизации маневрового тепловоза ТЭМП-1т. В результате, при эксплуатации на Нижнетагильском металлургическом комбинате, экономия дизельного топлива составила до 20 % [18].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Heghmanns, A., Wilbrecht, S., Beitelschmidt, M., Geradts, K. Parameter optimization and operating strategy of a TEG system for railway vehicles. *Journal of Electronic Materials*, 2016, Vol. 45, pp. 1633–1641. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11664-015-4145-2> [ограниченный доступ].
2. Gautam, A., Agarwal, A. K. Experimental investigations of comparative performance, emission and combustion characteristics of a cottonseed biodiesel-fueled four-stroke locomotive diesel engine. *International Journal of Engine Research*, 2013, Vol. 14, Iss. 4, pp. 354–372. DOI: [10.1177/1468087412458215](https://doi.org/10.1177/1468087412458215) [ограниченный доступ].
3. Vitins, J. Dual-Mode and New Diesel Locomotive Developments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2012, Vol. 2289, Iss. 1, pp. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.3141/2289-06> [ограниченный доступ].
4. Bonsen G. [et al]. Dual power locomotives for North America [*Zweikraft-Lokomotiven fuer Nordamerika*]. *Elektrische Bahnen-EB*, 2009, Vol. 107.

5. Знакомьтесь: гибридный маневровый тепловоз ТЭМ35 // *Локомотив*. – 2013. – № 11 (683). – С. 36–37.
6. Согласовано техническое задание на разработку гибридного тепловоза ТЭМ9Н «SinaraHybrid» // *Локомотив*. – 2011. – № 11 (659). – С. 42.
7. Ким С. И., Журавлёв С. Н., Федотов А. Б. Опыт эксплуатации тепловоза ЧМЭ3 с двухдизельной силовой установкой // *Локомотив*. – 2012. – № 11 (671). – С. 30–33.
8. Тишаев А. С., Зайцев А. Ю. Трёхдизельный локомотив ЧМЭ3 ЭКО: С заботой о будущем // *Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. – 2011. – № 4 (16). – С. 43–45.
9. Kolpahchyan, P., Zarifyan, A. (Jr). Study of the asynchronous traction drive's operating modes by computer simulation. Part 1: simulation results and analysis *Transport Problems*, 2015, Vol. 10, Iss. 2, pp. 125–136.
10. Попов И. В. Инертно-ёмкостной накопитель энергии для маневрового тепловоза // *Мир транспорта*. – 2019. – Т. 17. – № 3 (82). – С. 82–87. DOI: [10.30932/1992-3252-2019-17-3-82-87](https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-82-87).
11. Логинова Е. Ю., Кузнецов Г. Ю. Повышение тяговых характеристик тепловоза с гибридной энергетической установкой // *Мир транспорта*. – 2022. – Т. 20, № 3 (100). – С. 21–29. DOI: [10.30932/1992-3252-2022-20-3-3](https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-3).
12. Васюков Е. С., Бабков Ю. В., Перминов В. А., Белова Е. Е. Энергоэффективность тяги грузовых поездов тепловозами 2ТЭ25К «Пересвет» // *Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. – 2011. – № 1 (13). – С. 70–78.
13. Васюков Е. С., Бабков Ю. В., Перминов В. А., Белова Е. Е. Энергоэффективность тяги грузовых поездов тепловозами нового поколения 2ТЭ25А «Витязь» // *Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. – 2013. – № 3 (23). – С. 34–40.
14. Zarifyan, A., Obukhov, M. Electric Locomotives Energy Saving by the Discrete-Adaptive Traction Drive Control: Experimental Confirmation. 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, pp. 25–30. DOI: [10.1109/UralCon52005.2021.9559475](https://doi.org/10.1109/UralCon52005.2021.9559475).
15. Пугачёв А. А., Воробьёв В. И., Михальченко Г. С., Космодамианский А. С., Самотканов А. В. Энергетические показатели качества электропривода вспомогательных систем тягового подвижного состава // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2015. – № 1 (48) – С. 58–66.
16. Бабков Ю. В., Клименко Ю. И., Перминов В. А. Прямой и косвенный способы определения уровня энергетической эффективности тепловозов // *Железнодорожный транспорт*. – 2015. – № 3. – С. 55–60.
17. Zarifyan, A. [et al]. Increasing the Energy Efficiency of Rail Vehicles Equipped with a Multi-Motor Electrical Traction Drive. 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives, IWED 2019 Proceedings: 26, Moscow, 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/IWED.2019.8664283](https://doi.org/10.1109/IWED.2019.8664283).
18. Киреев А. В., Кожемяка Н. М., Гребенников Н. В. Модернизация маневровых тепловозов ТГМ6А: повышение топливной экономичности // *Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. – 2022. – № 4 (60). – С. 56–61. ●

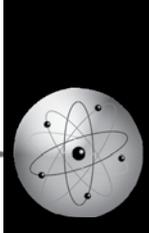
Информация об авторах:

Гребенников Николай Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры тягового подвижного состава Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия, grebennikovnv@mail.ru.

Зарифьян Александр Александрович – д.т.н., профессор, профессор кафедры тягового подвижного состава Ростовского государственного университета путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Россия, ipr_dela@rgups.ru.

Статья поступила в редакцию 24.02.2023, одобрена после рецензирования 03.03.2023, принята к публикации 15.03.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.139:625.122

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-1-2>

Оценка влияния сезонно-действующих охлаждающих устройств на теплофизические процессы грунтов основания железнодорожной насыпи



Таисия ШЕПИТЬКО



Игорь АРТЮШЕНКО

Таисия Васильевна Шепитько¹,
Игорь Александрович Артюшенко²

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

✉ ² tywka351@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Строительство в районах Крайнего Севера характеризуется большим количеством естественных природных преград, наличием многолетнемёрзлых грунтов в основаниях сооружений, отсутствием инфраструктуры и экстремальными природно-климатическими условиями. Таким образом наиболее актуальной задачей как при проектировании и строительстве, так и при дальнейшей эксплуатации путей сообщения в районах Заполярья является обеспечение надёжности основания сооружения.

Для обеспечения надёжности сооружений, проектируемых на многолетнемёрзлых грунтах, необходимо проведение теплофизических расчётов и составление прогнозов влияния температурных процессов на грунты основания.

Территория распространения многолетнемёрзлых грунтов (ММГ) занимает большую часть России, поэтому расширение возможностей использования этих регионов для

развития сети путей сообщения является важной стратегической задачей для государства. На сегодняшний день, в соответствии со Стратегией пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, приоритетным регионом, с точки зрения экономического роста и стратегического влияния, является Арктическая зона Российской Федерации.

В данной статье проанализировано влияние технологии сезонно-действующих охлаждающих устройств на грунты основания участка Салехард–Надым железнодорожной линии «Северный широтный ход» (ПК 2825+00 – ПК 2830+00). Показана эффективность работы сезонно-действующих охлаждающих устройств на многолетнемёрзлые грунты основания железнодорожной насыпи в совокупности с теплоизолирующим материалом. Сделан вывод о достоинствах и недостатках сезонно-действующих охлаждающих устройств.

Ключевые слова: транспорт, многолетнемёрзлые грунты, земляное полотно, криолитозона.

Для цитирования: Шепитько Т. В., Артюшенко И. А. Оценка влияния сезонно-действующих охлаждающих устройств на теплофизические процессы грунтов основания железнодорожной насыпи // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-2>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Многолетнемёрзлые грунты (ММГ) распространены на значительной части территории России, в том числе в Арктической зоне Российской Федерации, которая является одним из приоритетных регионов с точки зрения пространственного развития, экономического роста, обеспечения перевозок, в том числе, по Северному морскому пути. При этом одним из важнейших элементов, обеспечивающих эффективность строительства и долговременный характер эксплуатации инфраструктурных объектов, является надёжность оснований сооружений. Для её обеспечения при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений в зоне распространения ММГ необходимо использовать современные технологии и методы мониторинга.

Целью исследования, основные результаты которого изложены в статье, является анализ влияния технологии сезонно-действующих охлаждающих устройств на грунты основания на примере участка Салехард–Надым железнодорожной линии «Северный широтный ход».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование теплофизических процессов при строительстве транспортных сооружений на многолетнемёрзлых грунтах

При проектировании сооружений на многолетнемёрзлых грунтах для обеспечения их надёжности необходимо провести теплофизические расчёты и проанализировать влияние температурного режима на основание

земляного полотна [1–3].

Для оценки теплового взаимодействия железнодорожной насыпи с грунтами основания на участке Салехард–Надым железнодорожной линии «Северный широтный ход» (СШХ) (ПК 2825+00–ПК 2830+00) были произведены теплофизические расчёты. Данные расчёты выполнены в программном комплексе «Frost 3D», имеющем сертификат соответствия, свидетельство о государственной регистрации программного продукта и отвечающем требованиям РСН 67-68¹, СП 25.13330.2020², СП 116.13330.2012³, СП 11-105-97 часть IV⁴.

В статье проанализировано влияние температурного режима на основание земляного полотна и эффективность работы сезонно-действующих охлаждающих устройств (СОУ) на указанном участке линии СШХ.

¹ РСН 67-87. Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномёрзлых грунтов численными методами. – РФСР: Госстрой, 1988. – 73 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/901708505>. Доступ 09.02.2023.

² СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах СНиП 2.02.04-88: НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, 2021 г. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>. Доступ 09.02.2023.

³ СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. – Москва, 2012. – 65 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540>. Доступ 09.02.2023.

⁴ СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов. – Москва, 2000. – 61 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200007407>. Доступ 09.02.2023.

Таблица 1

Инженерно-геологические элементы и теплофизические свойства грунтов, используемые при моделировании геокриологического прогноза

[выполнено авторами]

Наименование	Влажность, д.е.	Плотность сухого грунта, кг/м ³	Теплопроводность, λ Вт/(м•К)		Удельная теплоёмкость, °С кДж/(м ³ •К)		Температура начала замерзания
			Мёрзлые	Талые	Мёрзлые	Талые	
Суглинок	0,25	1600	1,68	1,51	2,35	3,15	-0,20
Верх насыпи	0,05	1900	1,51	1,45	2,18	2,35	-0,05
Песок	0,38	1220	1,79	1,57	2,14	3,13	-0,28
Насыпь	0,20	1400	1,86	1,57	1,89	2,48	-0,05



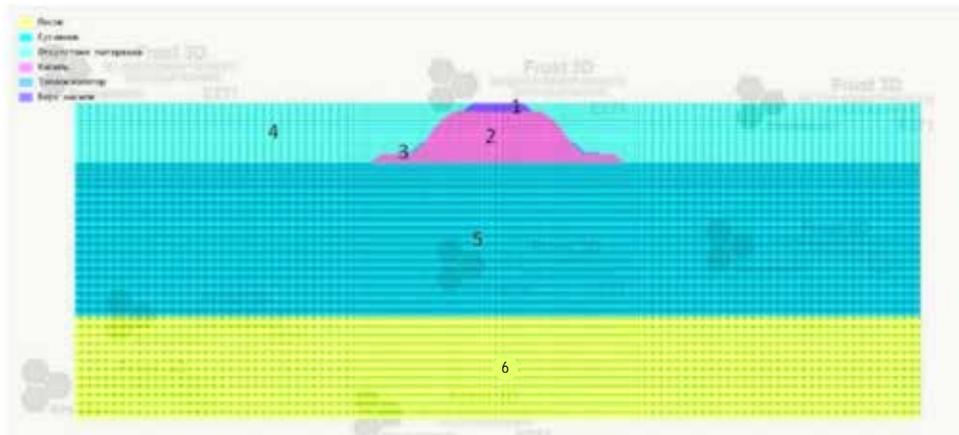


Рис. 1. Расчётная область ПК 2825 в программном комплексе «Frost 3D»: 1 – верх насыпи; 2 – насыпь; 3 – теплоизолятор; 4 – отсутствие материала; 5 – суэлинок; 6 – песок [выполнено авторами].

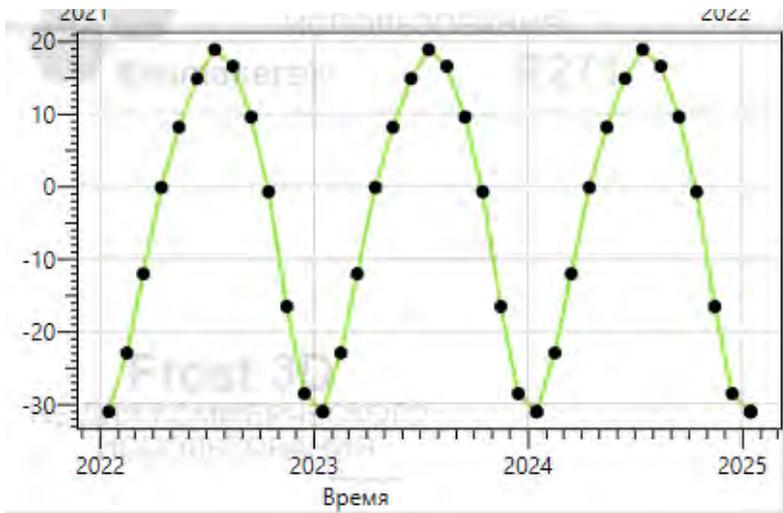


Рис. 2. График распределения температур по годам [выполнено авторами].

Для расчёта теплофизических свойств и последующего моделирования температурного режима грунтов использовались данные, полученные по результатам инженерно-геологических изысканий⁵ (табл. 1).

Расчётной областью был выбран поперечный разрез насыпи на ПК 2825+00, который представляет собой прямоугольную область 15 м по вертикали и 50 м по горизонтали. Такой размер расчётной области захватывает все прилегающие грунты основания и насыпи для последующих расчётов. На рис. 1 показана расчётная область с контурной разбивкой используемых грунтов.

Для моделирования теплофизических свойств были проведены расчёты по прогно-

зированию температур. При прогнозировании температур на каждой расчётной области можно заметить приблизительно одинаковые графики распределения температур по годам (рис. 2). Основой расчёта служит график распределения температур за последний известный год (рис. 3).

Значения данных о температуре за 2021 год представлены в табл. 2.

Расчётный период теплофизических свойств составил 15 лет (с 15.01.2022 г. по 15.01.2037 г.), который показал изменения температурных полей.

Теплофизические модели, полученные при моделировании в программном комплексе «Frost 3D», представлены на рис. 4 и 6. Сравнивая две модели, можно заметить, что первоначально в теле насыпи присутствовала

⁵ Рабочий проект. Строительство новой железнодорожной линии Обская–Салехард. ООО «Мостострой-12», 2012. – 278 с.

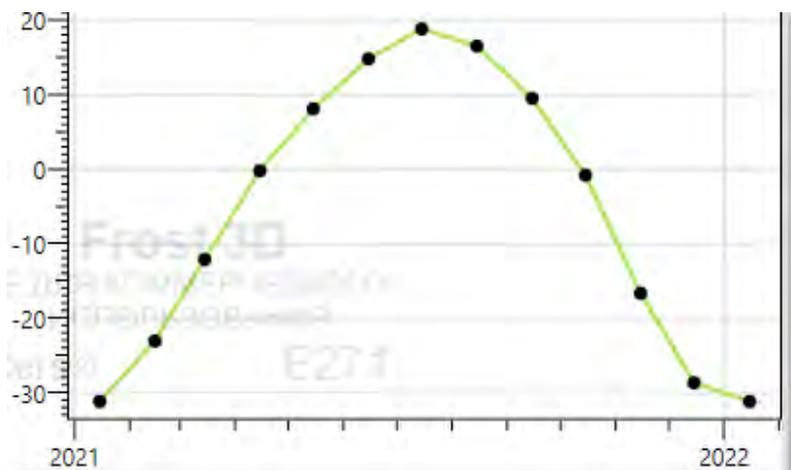


Рис. 3. График распределения температур за 2021 г. [выполнено авторами].

Таблица 2

Таблица распределения температур за 2021 год по месяцам [выполнено авторами]

Дата	15.01.2021	15.02.2021	15.03.2021	15.04.2021	15.05.2021	15.06.2021	15.07.2021	15.08.2021	15.09.2021	15.10.2021	15.11.2021	15.12.2021	15.01.2022
Градусы	-31,1	-23	-12,1	-0,2	8,1	14,8	18,8	16,5	9,5	-0,8	-16,6	-28,6	-31,1

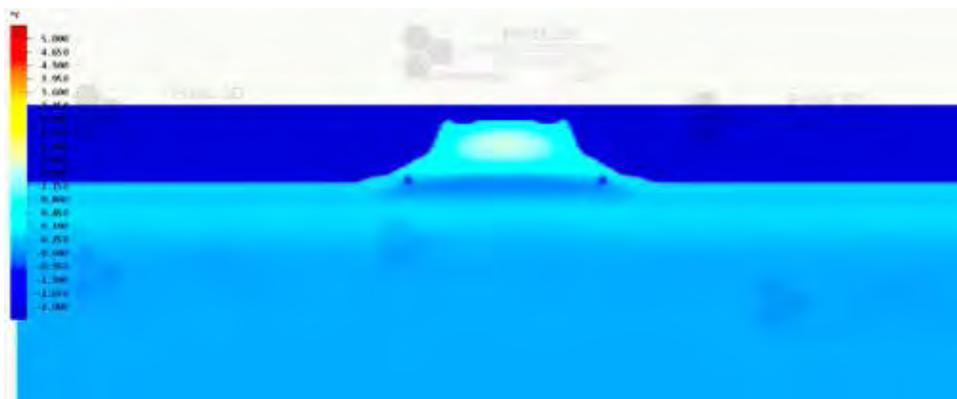


Рис. 4. Теплофизическая модель, построенная в «Frost 3D» за 15.01.2022 г. [выполнено авторами].

таялая зона, но со временем размеры её уменьшаются до минимального, а после промораживания тела насыпи таялая зона полностью отсутствует. Происходит промерзание в верхней части насыпи, что можно увидеть на графиках распределения температурных полей на рис. 5 и 7.

Грунты в криолитозоне подвергаются сезонному оттаиванию и промерзанию в деятельном слое. Деятельный слой – это верхняя часть толщи вечной мерзлоты, изменение которого, вслед за изменением теплообмена на поверхности, приводит к развитию опасных криогенных процессов [4; 5].

По результатам расчёта можно сделать следующие выводы.

При первоначальном расчёте за 2022 год была выявлена таялая зона в центре тела насыпи. Таких размеров таялая зона может вызвать просадки грунтов основания и стать причиной нарушения устойчивости насыпи. На модели за 2037 год таялая зона отсутствует, что является важным фактором для обеспечения устойчивости насыпи.

Благодаря полученным результатам, описанным в [6; 7], известно, что посткриогенная структура может возникнуть в течение нескольких лет, то есть, в результате





Рис. 5. График распределения температурных полей за 15.01.2022 г. [выполнено авторами].

прохождения циклов промерзания/оттаивания. Сооружение насыпи приводит к изменению температурного режима грунтов основания из-за нарушения естественного покрова, что хорошо видно по изменению температурных полей за 15 лет существования насыпи. Это приводит к уменьшению льдоцементных связей в мёрзлых грунтах, вследствие чего уменьшаются их прочностные характеристики, что приводит к увеличению деформаций основания земляного полотна [8].

Моделирование применения сезонно-действующих охлаждающих устройств (с использованием программного комплекса «Frost 3D»)

Программный комплекс «Frost 3D» имеет обширные возможности в расчётах термостабилизации грунта.

В исследованиях [9–11] раскрыта проблема термостабилизации температурного режима грунтов основания земляного полотна для сохранения грунтов основания в мёрзлом состоянии и предотвращения



Рис. 6. Теплофизическая модель, построенная в «Frost 3D» за 15.01.2037 г. [выполнено авторами].

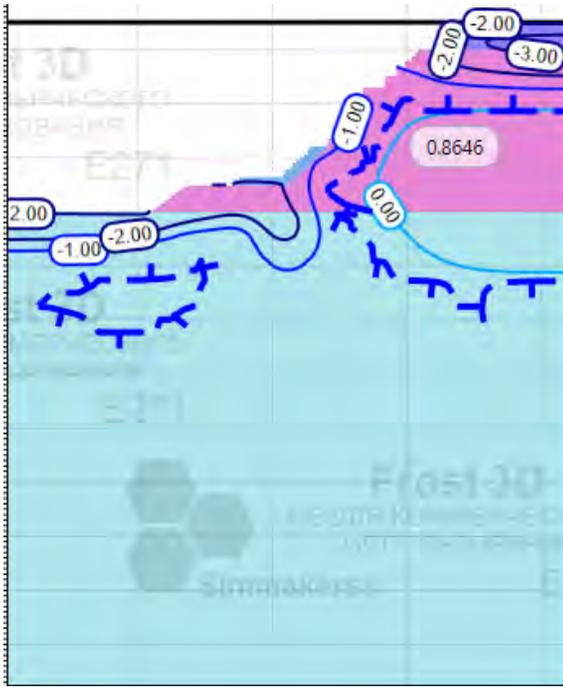


Рис. 7. График распределения температурных полей за 15.01.2023 г. [выполнено авторами].

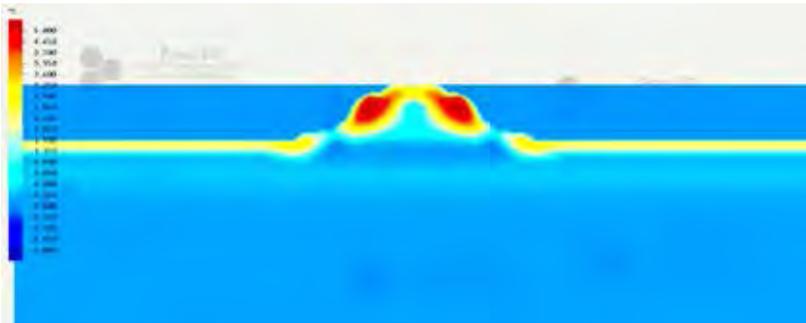


Рис. 8. Теплофизическая модель, построенная в «Frost 3D» с применением технологии COU за 15.10.2022 г. [выполнено авторами].

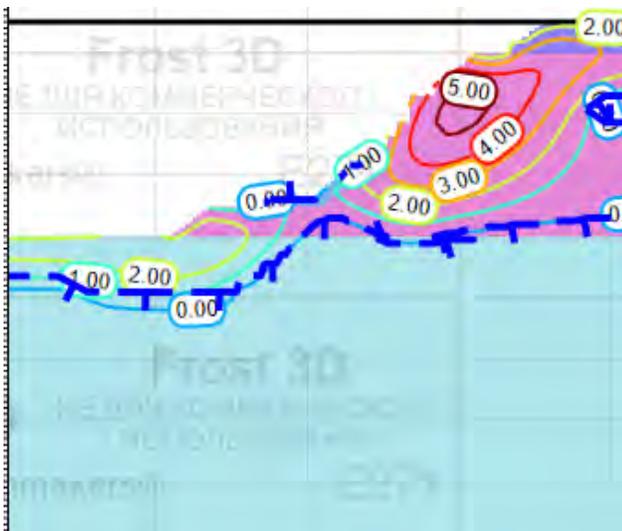


Рис. 9. График распределения температурных полей с применением технологии COU за 15.10.2022 г. [выполнено авторами].



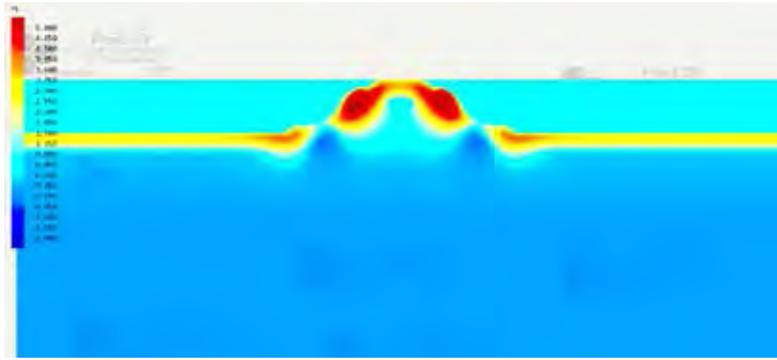


Рис. 10. Теплофизическая модель, построенная в «Frost 3D» с применением технологии СОУ за 15.10.2037 г. [выполнено авторами].

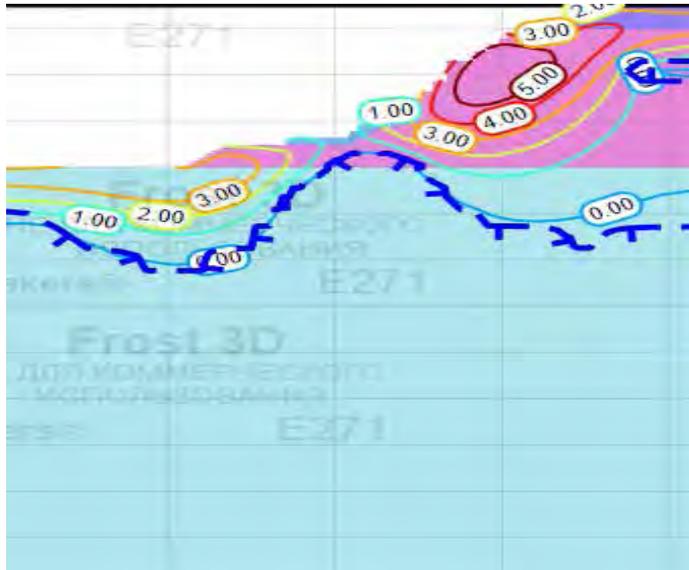


Рис. 11. График распределения температурных полей с применением технологии СОУ за 15.10.2037 г. [выполнено авторами].

образования деформаций в основании насыпи.

Одной из технологий по обеспечению термостабилизации многолетнемёрзлых грунтов является применение сезонно-действующих охлаждающих устройств (СОУ), устанавливаемых вдоль полотна железной дороги.

В методике расчёта мест установки сезонно-действующих охлаждающих устройств приняты математические решения охлаждения и замораживания грунта вокруг охлаждающего устройства [12–14].

При решении задачи теплообмена между СОУ и грунтом рассматривается система дифференциальных уравнений (1) [15]:

$$\begin{cases} c(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \left(r \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right)}{\partial r} + \frac{\partial \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right)}{\partial z}, & (1) \\ \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} = K_s(v) (T - T_v(\tau)) \end{cases}$$

где r, z – координаты цилиндрической системы координат;

τ – время;

$c(T)$ – эффективная объёмная теплоёмкость пород;

$\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности;

$K_s(v)$ – коэффициент теплопроводности испарителя.

Применение технологии СОУ при строительстве и эксплуатации насыпи оказывает положительный эффект на температурные показатели грунтов основания, а вместе с этим и на физико-механические характеристики данных грунтов. Для анализа эффективности СОУ сравним теплофизические модели без применения технологии и с ней (рис. 6, 8).

На рис. 6, как было описано выше, в центре насыпи присутствует таяя зона, влияющая на устойчивость насыпи. По срав-

нению с ним, на рис. 8 в самом опасном месяце (октябрь) талая зона прогрессирует в верхней площадке, на откосах и в основании насыпи. СОУ оказывает положительное влияние на грунты основания, уменьшая талую зону на границах откосов. На рис. 10 можно заметить, что благодаря влиянию СОУ и теплоизоляционного материала зона охлаждения растёт, способствуя повышению прочностных характеристик грунтов и устойчивости насыпи.

Сравнивая модели на рис. 9 и 11 можно увидеть, что в течение 15 лет будет отмечаться активное влияние положительных температур, но благодаря работе сезонно-действующих охлаждающих устройств и теплоизоляционных материалов талая зона будет распространяться не так активно, сохраняя зону промораживаемого грунта.

ВЫВОДЫ

На основе моделирования теплофизических процессов участка Салехард–Надым железнодорожной линии «Северный широтный ход» (ПК 2825+00 – ПК 2830+00) можно сделать следующий вывод: применение технологии сезонно-действующих охлаждающих устройств оказывает положительное влияние на грунты основания. Однако применение СОУ является эффективным только при использовании первого принципа строительства грунтовых сооружений – сохранения многолетнемёрзлых грунтов в мёрзлом состоянии.

Существенным недостатком работы СОУ является необходимость их обслуживания для обеспечения эффективной работы данных устройств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шепитько Т. В., Артюшенко И. А., Долгов П. Г. Армирование грунтов основания вертикальными столбами из щебня в криолитозоне // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4. – С. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-68-78>.
2. Шепитько Т. В., Артюшенко И. А. Влияние вертикальных столбов из щебня на криогенные процессы грунтов основания земляного полотна // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2019. –

- Т. 6. – № 4. – 11 с. DOI: <http://dx.doi.org/10.15862/10SATS419>.
3. Железняк И. И. Надёжность мёрзлых оснований сооружений. – Новосибирск: Наука, 1990. – 174 с. ISBN 5-02-029655-4.
4. Гречищев С. Е., Чистотинов Л. В., Шур Ю. Л. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз. – М.: Недра, 1980. – 383 с.
5. Луцкий С. Я., Роман Л. Т. Технологическое регулирование характеристик многолетнемёрзлых грунтов в основании дорог // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2017. – № 3. – С. 26–30. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30558316> [платный доступ].
6. Цытович Н. А. Основания и фундаменты на мёрзлых грунтах. – Изд. АН СССР, 1958. – 168 с.
7. Кондратьев В. Г. Новые методы и технологии управления состоянием грунтов тела и основания земляного полотна дорог в криолитозоне // Журнал «Геотехника». – М.: ООО «Геомаркетинг», 2011. – № 2. – С. 28–40. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17649375> [ограниченный доступ].
8. Кудрявцев С. А., Сахаров И. И., Парамонов В. Н. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечно-элементные расчёты). – СПб.: Геореконструкция, 2014. – 247 с. ISBN 978-5-9904956-3-0.
9. Ашпиз Е. С., Хрусталева Л. Н. Предотвращение деградации многолетнемёрзлых грунтов в основании насыпей железных дорог // Криосфера Земли. – 2020. – Т. 24. – № 5. – С. 45–50. DOI: [10.21782/KZ1560-7496-2020-5\(45-50\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-5(45-50)).
10. Jiankun, Liu; Yahu, Tian. Numerical studies for the thermal regime of a roadbed with insulation on permafrost. Cold Regions Science and Technology, 2002, No. 35, pp. 1–13. DOI: [10.1016/S0165-232X\(02\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00028-9).
11. Золотарь И. А., Пузаков Н. А., Сиденко В. М. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1971. – 414 с.
12. Ибрагимов Э. В., Кроник Я. А., Куплинова Е. В. Экспериментальные исследования инновационных конструкций пологонаклонных конструкций термостабилизаторов грунта // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 208–220. [Электронный ресурс]: <https://www.elib.tomsk.ru/elib/data/2018/2018-1092/2018-1092.pdf>. Доступ 21.02.2023.
13. Ибрагимов Э. В., Кроник Я. А., Пустовойт Г. П. Опыт использования тепловых насосов в качестве систем термостабилизации грунта в криолитозоне // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 5. – С. 23–26. [Электронный ресурс]: <https://www.nponorth.ru/nauchnaya-deyatelnost/publikacii/article/ibragimov.pdf>. Доступ 21.02.2023.
14. Долгих Г. М., Окунев В. Н. Системы замораживания и температурной стабилизации грунтов в зоне многолетнемёрзлых пород, применяемые ООО НПО «Фундаментстройаркос» // Материалы IX научно-технической конференции «Моделирование технологий замораживания искусственным холодом». – 2003. – С. 123–129.
15. Ковальков В. П., Проняева Т. И. Интенсификация замораживания грунтов в нефтегазовом строительстве. – М.: Информнефтегазстрой, 1981. – 51 с. ●

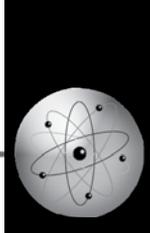
Информация об авторах:

Шепитько Таисия Васильевна – д.т.н., профессор, директор Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта, Москва, Россия, shepitko-tv@mail.ru.

Артюшенко Игорь Александрович – к.т.н., доцент кафедры проектирования и строительства железных дорог Российского университета транспорта, Москва, Россия, tyuka351@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.02.2023, одобрена после рецензирования 03.03.2023, принята к публикации 13.03.2023.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 629.42.621.892
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-3>

Вопросы создания равнопрочных двухслойных сферических резинометаллических шарниров



Андрей КОСМОДАМИАНСКИЙ



Владимир ВОРОБЬЁВ



Олег ИЗМЕРОВ



Дмитрий РАСИН



Дмитрий ШЕВЧЕНКО

Андрей Сергеевич Космодамианский¹, Владимир Иванович Воробьёв², Олег Васильевич Измеров³, Дмитрий Юрьевич Расин⁴, Дмитрий Николаевич Шевченко⁵

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

^{2,3,4} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия.

✉ ¹ askosm@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема создания равнопрочных двухслойных сферических резинометаллических шарниров (РМШ). При равной толщине слоёв резиновых втулок и равном угле их раскрытия наблюдается существенное отличие в их радиальной жёсткости и относительной деформации резины. При размерах шарниров, соответствующих применяемым в экипажной части локомотивов, наблюдается разница относительной деформации внутренней и наружной втулки примерно в 1,5 раза. Вследствие этого нагрузочную способность сферических двухслойных РМШ предложено определять по величине относительной деформации резины наиболее нагруженной втулки. Также проведены исследования возможностей создания равнодеформируемой конструкции сферического двухслойного РМШ.

Для определения характеристик сферического резинометаллического шарнира использовано цифровое компьютерное моделирование с помощью метода конечных элементов. Предложена параметризованная геометрическая модель сферического двухслойного РМШ и конечно-элементная модель упругой втулки, дающие соотношение радиальных жёсткостей наружной и внутренней втулок,

близкое к предварительно определённое на основе уравнений теории упругости в перемещениях в сферической системе координат.

Установлено, что для достижения равноупругости путём изменения угла раскрытия, угол раскрытия наружной арматуры РМШ должен быть примерно в 1,5 раза меньше угла раскрытия внутренней. Это позволяет на 25 % уменьшить ширину наружной арматуры РМШ, однако при этом возникает проблема прочности и жёсткости наружных краёв промежуточной арматуры. Также равноупругость втулок шарнира может быть достигнута за счёт их разной толщины, при этом для достижения неравножёсткости втулок в пределах $\pm 5\%$ требуется обеспечить отклонение диаметра промежуточной обоймы менее чем на $\pm 0,1\%$ при изготовлении шарнира.

Полученные результаты исследований доказывают практическую возможность создания равнопрочного (с равной жёсткостью втулок) сферического двухслойного РМШ. Вопрос поиска компромиссной конструкции РМШ, приемлемой с точки зрения нагруженности промежуточной обоймы и требований к точности изготовления, требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: тяговый привод локомотива, сферический резинометаллический шарнир, надёжность, конструирование.

Для цитирования: Космодамианский А. С., Воробьёв В. И., Измеров О. В., Расин Д. Ю., Шевченко Д. Н. Вопросы создания равнопрочных двухслойных сферических резинометаллических шарниров // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-3>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Объект исследования и описание проблемы

Сферические резинометаллические шарниры (РМШ), не требующие обслуживания во время эксплуатации, широко применяются в узлах транспортных машин в отечественной и зарубежной практике, в частности, в узлах экипажной части железнодорожных транспортных средств (локомотивы 2ЭС6, 2ТЭ25А, ЭП20 и др.), что определяет актуальность развития методов их расчёта и проектирования, а также поиска новых конструкций сферических РМШ, имеющих более высокую нагрузочную способность по сравнению с зарубежными аналогами.

Ранее авторами в работе [1], в результате исследований методами математического моделирования было установлено, что жёсткость двуслойных сферических резинометаллических шарниров (РМШ) в радиальном направлении может быть в 6,3 раза выше, чем у однослойных при прочих равных условиях. Это означает, что при твёрдости резины 70–80 ед. по Шору и размерах, как у шарнира подвески тягового электродвигателя электровоза 2ЭС6 (наружный диаметр 120 мм), радиальная жёсткость шарнира должна в среднем составить примерно 620 кН/мм, что почти втрое выше радиальной жёсткости шарнира 13–4007 фирмы Trelleborg Antivibration Solutions (Швеция), имеющего наружный диаметр 127 мм, и в семь раз выше радиальной жёсткости шарниров 13–1180 и 13–2624 тех же размеров того же производителя. Таким образом, двуслойные шарниры, позволяют существенно превзойти по нагрузочной способности однослойные шарниры зарубежных производителей, при использовании отечественных материалов и комплектующих изделий и отечественной технологической базы.

Однако, при этом следует учитывать, что если в однослойном сферическом РМШ в качестве критерия оценки допустимых радиальных нагрузок можно использовать величину относительной деформации сжатия резинового слоя, определяемую по радиальной деформации всего РМШ, как это предлагается делать в [2], то в двуслойном необходимо также учитывать то, что относительная деформация наружной и внутренней резиновой втулок РМШ может быть различной. Поясним это на следующем примере.

В [3; 4] на основе уравнений теории упругости в перемещениях в сферической системе координат предложена следующая формула для определения радиальной жёсткости однослойных сферических РМШ, кН/мм:

$$j_{\text{р}} = 6\pi GR_1 \frac{\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-1} - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^4}{5 - 4,5 \left[\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-2} \right] + 2 \left[\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-3} \right]}, \quad (1)$$

где G – модуль сдвига, МПа;

R_1 – радиус сферы наружной обоймы, мм;

R_2 – радиус сферы внутренней обоймы, мм.

Согласно исследованиям [5], расчёты жёсткости резинометаллических элементов на основе зависимостей, заданных аналитически, обычно носят приближённый характер, поэтому оценим с помощью формулы (1) соотношение жёсткостей.

Представим двуслойный сферический шарнир в виде двух однослойных с одинаковым углом раскрытия, для которых промежуточная втулка соответственно является внутренней и наружной. В качестве примера возьмём шарнир по чертежу применяемого в подвеске тепловоза 2ТЭ25А, при условии разделения резинового слоя посередине промежуточной втулкой толщиной 2 мм. Тогда для наружного слоя $R_1 = 55$ мм, $R_2 = 51$ мм; для внутреннего соответственно $R_1 = 49$ мм, $R_2 = 45$ мм. Условно примем величину $G = 1,4$ МПа, поскольку в рассматриваемом примере абсолютная величина жёсткости не интересует. Подставляя эти данные в формулу (1), получаем отношение радиальных жёсткостей наружной и внутренней втулок $j_{\text{рн}}/j_{\text{рвн}} = 1,5$. Данный пример показывает, что при простом разделении резинового слоя промежуточной втулкой и приложении радиальной нагрузки радиальная деформация резины в наружном и внутреннем слое будет существенно различаться, вследствие чего прочность и долговечность сферического двуслойного РМШ при воздействии радиальной нагрузки нельзя оценивать на основании суммарной радиальной деформации РМШ, соотношённой с суммарной толщиной слоёв резины.

К разрешению данной проблемы при проектировании шарнира можно подойти двумя путями.

Во-первых, можно рассматривать относительную деформацию резинового слоя только для внутренней, наиболее нагруженной втул-



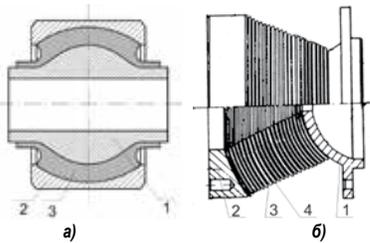


Рис. 1. Схемы сферических РМШ: а – однослойного; б – ТРМЭ; 1 – внутренняя обойма; 2 – наружная обойма; 3 – резиновый слой; 4 – промежуточная обойма (арматура).

(Сохань О. Н. Конструирование втулок несущих винтов вертолётов: Учеб. пособие. – М.: МАИ, 1981. – 56 с. [Электронный ресурс]: https://perviydoc.ru/v5091/sohanь_о.н._конструирование_втулок_несущих_винтов_вертолётов. Доступ 24.10.2022).

ки, полагая, что нагруженность наружной будет меньше. Такой подход является наиболее простым, но ведёт к дополнительному расходу материала при изготовлении наружной втулки, которая имеет заведомо завышенную нагрузочную способность.

Во-вторых, можно попытаться создать равнопрочную конструкцию с одинаковой относительной деформацией наружной и внутренней втулок. Однако реализация данного подхода затруднена тем, что на сегодняшний день не только отсутствует общепринятая методика оптимизации параметров двухслойных шарниров, но и не доказана сама возможность создания равнопрочных шарниров без существенного усложнения технологии их изготовления. Цель предлагаемой статьи – попытка решения данной проблемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ проблемы и поиск методов её решения

Прежде всего следует отметить, что двухслойные сферические РМШ на данный момент не имеют конструктивных аналогов, производимых зарубежными фирмами, и научных публикаций, посвящённых созданию равнопрочных конструкций двухслойных сферических РМШ, на момент написания статьи авторами обнаружено не было. Более того, практически не было обнаружено патентных решений равнопрочных конструкций таких шарниров. Так, в патенте [6], резина втулок после сборки шарнира не смыкается, что увеличивает свободную поверхность резиновых втулок и снижает радиальную жёсткость шарнира, а, следовательно, и его нагрузочную способность в то время, как авторами ещё в [7] был предложен шарнир, после сборки которого не остаётся внутренней полости. Исследованиями [3] было установлено, что для одно-

слойного шарнира при закрытии зазора между наружными втулками радиальная жёсткость, и, соответственно, нагрузочная способность, возрастает в 1,7...2 раза.

Теоретические исследования многослойных резинометаллических элементов в настоящее время ведутся в области плоских опор (например, в [8]), а также сферических резинометаллических подпятников, имеющих боковую поверхность, близкую к конической [9], характер деформации которых при радиальном нагружении отличается от характера деформации резинового слоя сферических РМШ, используемых в экипажной части рельсовых экипажей.

Проведённый авторами анализ конструкций сферических РМШ, применяемых в различных областях техники показал, что на сегодняшний день стихийно сложились два подхода к проектированию этих изделий (рис. 1а, б).

Однослойные сферические РМШ (рис. 1а) проектируются и производятся основными зарубежными производителями (Trelleborg, GMT Rubber-Metal-Technik LTD, Vulcanite, Vibrachok-Paulstra и т.п.) как общемашиностроительные изделия. Согласно каталогам фирм, продукция представляет собой РМШ с разъёмной трёхсегментной наружной обоймой с радиальными разъёмами, с углом раскрытия резиновой втулки, близким к максимально возможному по конструктивно-технологическим соображениям (прочности оси, на которой монтируется шарнир, или клиньев для крепления и возможности изготавливать РМШ методом прессования или литья) и близким к 90°. Толщина резиновой втулки принимается в пределах примерно 15...25 % от радиуса наружной сферической поверхности резиновой втулки. Выбор таких параметров в основном продиктован стремлением получить наибольшую нагрузочную способность РМШ при однослойной конструкции и требованиями к максимальным углам поворота и перекоса в пределах 7...10°.

Сферические тонкослойные резинометаллические элементы (ТРМЭ), именуемые в отечественной технической литературе также сферическими эластомерными подшипниками (рис. 1б), применяются в узлах крепления несущих винтов отечественных и зарубежных вертолётов [10]. Как правило, они представляют собой упорные подшипники из большого числа чередующихся слоёв резины толщиной

1...1,2 мм и металла толщиной 0,8...1 мм, склеенных между собой [11] в виде усечённого сферического конуса с отверстием. Форма РМШ определяется не требованиями равнопрочности, а условиями устойчивости резино-металлического пакета, имеющего ширину основания меньше высоты, при перемещениях узлов и приложении нагрузок. Согласно [11], срок службы сферического ТРМЭ ограничен четырьмя годами по условию старения резины. Как установлено в [12–14], математическое моделирование работы ТРМЭ носит предварительный характер, поскольку «учитывая сложность физико-механических превращений... в процессе циклического деформирования резины, конкретный состав материала, влияние динамической составляющей нагрузки, масштабного фактора, частоты и скорости нагружения, функциональное назначение и требования к надёжности, циклическая прочность ТРМЭ требует экспериментального подтверждения на полноразмерных моделях» ([12]).

Таким образом, анализ существующего опыта создания РМШ не позволил выявить эмпирические соотношения параметров, обеспечивающие равнопрочность конструкции, вследствие чего авторами было принято решение производить дальнейший поиск *методом* математического моделирования.

Анализ конструкции сферического двухслойного РМШ показал, что достижение одинаковой относительной радиальной деформации наружной и внутренней резиновых втулок может быть достигнуто следующими путями:

- а) применением для наружной и внутренней втулок резины разной твёрдости при равной толщине втулок и равных углах их раскрытия;
- б) изменением фактора формы для наружной втулки за счёт уменьшения угла её раскрытия;
- в) различной толщиной наружной и внутренней втулок;
- г) увеличением свободной поверхности наружной втулки, например, за счёт неполного замыкания частей втулки при монтаже РМШ.

Способ «а» на практике трудно реализовать, причем не столько из-за технологических затруднений прессования или литья двух разных резиновых смесей в форму, сколько из-за существенного разброса значений

твёрдости резины одной и той же марки, в результате чего соотношение значений модуля сдвига для разных партий изделий будет существенно меняться. Также технологически сложно обеспечить требуемую форму и размеры пустот в месте смыкания частей шарнира при монтаже в случае использования метода «г». В связи с этим авторы решили провести исследования для вариантов «б» и «в». Задача моделирования состояла в проверке возможности достижения равной величины относительной радиальной деформации наружной и внутренней втулок при сохранении геометрических параметров РМШ, позволяющих изготовить его методами прессования или литья.

Создание параметризованной математической модели

Расчёт сферических РМШ методом конечных элементов (МКЭ) связан с определенными трудностями, вызванными вариативностью свойств резины [15] и иными особенностями, ранее отмеченными авторами в [1]. Для решения поставленной задачи была сформирована расчётная схема, представляющая собой объёмную конечно-элементную модель четверти упругой втулки РМШ. Выделение четверти обусловлено симметрией РМШ в двух взаимоперпендикулярных плоскостях. Это приведёт к уменьшению размерности задачи, а также повысит удобство обработки получаемых результатов.

Расчётная схема формировалась на основе твёрдотельной трёхмерной модели (рис. 2, 3), при создании которой параметрическими зависимостями установлены значения углов раскрытия внешней, внутренней и промежуточной втулок, что позволяет автоматически перестраивать расчётную схему при многовариантных расчётах.

Конечно-элементная сетка выполнена гексаэдральными объёмными элементами с размерностью разбивки 1,5 мм. В качестве материала наружного и внутреннего резинового слоя применяется ортотропный материал, имеющий линейную силовую характеристику, что справедливо для небольших перемещений внутреннего кольца шарнира, согласно экспериментальным данным. Материалом внутренней разделительной втулки выбрана стандартная сталь, $E = 210000 \text{ МПа/мм}^2$, $\mu = 0,3$.

В центральной точке РМШ располагается соединительный элемент, соединяющий её со



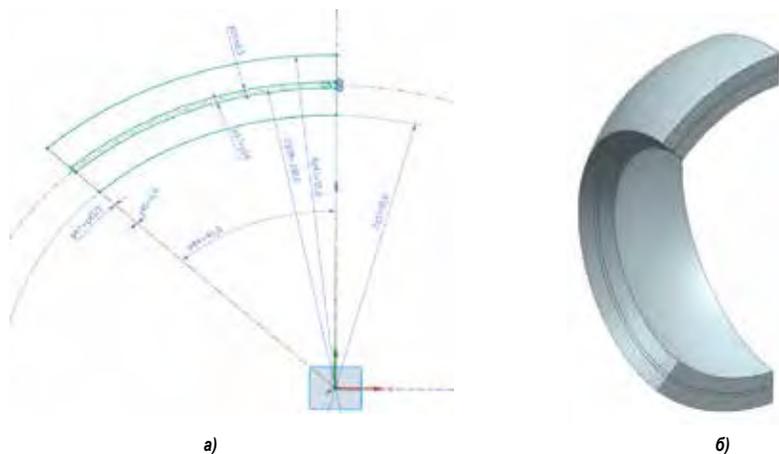


Рис. 2. Параметризованная геометрическая модель сферического двухслойного РМШ, принятая авторами для моделирования: а – основные параметры модели, б – геометрическая модель упругой втулки.

всеми узлами внутренней поверхности упругой втулки абсолютно жёсткими связями.

В пространстве расчётная схема закреплена по поверхности упругой втулки, контактирующей с внешним кольцом шарнира, жёсткой заделкой. На поверхности, расположенные на секущих плоскостях, наложены соответствующие симметричные связи. Среднему узлу сообщается вынуждающее перемещение 1 мм в радиальном направлении.

Анализ напряжённо-деформированного состояния упругой втулки показал, что при равных углах раскрытия верхней, средней и внутренней втулки РМШ, равных 90°, перемещения узлов средней втулки в зоне максимальной деформации, практически одинаковы, это говорит о том, что деформации промежуточной втулки (стальной арматуры) ничтожны по сравнению с деформациями слоёв резины (рис. 4).

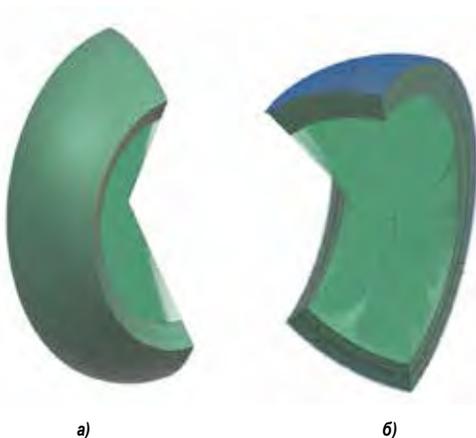


Рис. 3. Конечно-элементная модель упругой втулки РМШ, принятая авторами для моделирования: а – конечноэлементная сетка, б – ограничения расчётной схемы.

При общем перемещении узлов в радиальном направлении на величину 1 мм, деформация внешнего резинового слоя составила 0,397 мм. Перемещение нижнего узла внутренней резиновой втулки составляет 1 мм, а верхнего узла 0,398, тогда общая деформация внутреннего слоя по средней оси РМШ составит $1 - 0,398 = 0,602$ мм. Иными словами, абсолютная деформация внутреннего слоя в 1,5 раза больше, чем внешнего (а, следовательно, и относительная деформация резины слоёв, поскольку их толщина в данном случае одинакова).

Таким образом, результаты моделирования подтверждают вывод, сделанный на основе данных, полученных с помощью формулы (1): нагрузочную способность двухслойных сферических РМШ необходимо оценивать по слою с наибольшей величиной относительной деформации. Перейдём к анализу возможностей создания РМШ с одинаковой относительной деформацией слоёв.

Моделирование РМШ с разными значениями углов раскрытия втулок

Для выравнивания значений относительной деформации резиновых слоёв предложено изменить соотношение данных параметров резиновых слоёв, изменяя значения углов раскрытия наружной и средней втулок.

Угол раскрытия средней втулки принимается равным полусумме соответствующих углов внешней и внутренней втулок (параметр $r47$, рис. 2).

Критерием равнодеформированного состояния будет приниматься приближение значения перемещений узлов средней втулки

по вертикальной оси шарнира к значению 0,5 мм. При равных толщинах резиновых слоёв при таком значении перемещения будут наблюдаться их равные относительные деформации.

Результаты вариативных расчётов для различных углов раскрытия внешней втулки представлены в табл. 1.

В результате проведенного анализа получена форма упругой втулки, обеспечивающая равнодеформированное состояние (рис. 5, 6).

Используя вышеописанную параметризованную модель, были получены значения углов раскрытия для РМШ, имеющих различную ширину (табл. 2), обеспечивающие условие равноупругости.

Как видно из табл. 2, для достижения равноупругости угол раскрытия наружной арматуры должен быть примерно в 1,5 раза меньше угла раскрытия внутренней. Это позволяет более чем на 25 % уменьшить ширину наружной арматуры РМШ, снизить массу детали, а также облегчает заполнение пространства между втулок резиновой массой при изготовлении шарнира.

К недостаткам данной конструкции РМШ следует отнести то обстоятельство, что при предварительной деформации резиновых втулок в ходе монтажа, а также при воздействии радиальных нагрузок давление изнутри на края промежуточной обоймы, создаваемое внутренней резиновой втулкой, не будет компенсироваться давлением снаружи, т.к. край промежуточной обоймы находится под свободной поверхностью наружной резиновой втулки. Это означает необходимость исследования напряжённого состояния промежуточной обоймы для определения её прочности и жёсткости и, возможно, увеличения толщины краев обоймы. Ещё одна проблема, требующая дальнейшего исследования, вызвана тем, что в равнопрочном шарнире резиновая втулка имеет острый угол в месте примыкания внутренней поверхности к металлическим деталям. Согласно [2], если деталь имеет фактор формы более 1,5, то её прочность начинает определяться прочностью соединения резины с металлом. Как указано в [16], прочность соединения резины из синтетических каучуков с металлом с помощью клея «Лейконат» для резиновых смесей может изменяться от 3 до 10 МПа. Это означает, что при данной форме свободной поверхности резиновой втулки необходимо реализовать максимально прочное

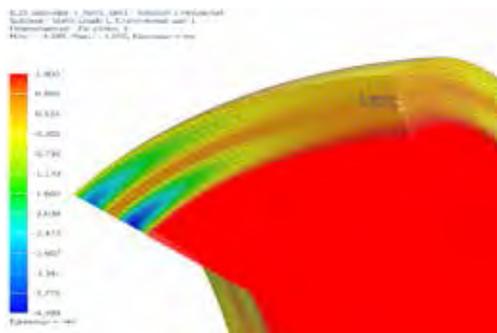


Рис. 4. Перемещения узлов средней втулки в радиальном направлении по результатам моделирования [получены авторами].

соединение резины с металлическими деталями. Как уже отмечалось авторами в [1], характерными дефектами сферических РМШ, работающих в узлах подвешивания тяговых электродвигателей локомотивов, является отслоение резиновых элементов от металлических деталей [17–19]. Разрешение отмеченных проблем является задачей дальнейших исследований.

Моделирование РМШ с разными значениями толщин резиновых втулок

С использованием той же модели авторами был проведен поиск равнодеформированного состояния резины при различных значениях толщин резиновых втулок для сферического двуслойного РМШ с углом раскрытия упругих втулок 90°.

Введём обозначение:

h_n – начальная толщина наружного резинового слоя;

h_b – начальная толщина внутреннего резинового слоя;

δ_n – перемещение нижнего узла средней втулки при единичном смещении внутреннего кольца;

δ_b – перемещение верхнего узла средней втулки при единичном смещении внутреннего кольца;

δh_n – абсолютная деформация наружного слоя;

δh_b – абсолютная деформация внутреннего слоя;

ε_n – абсолютная деформация наружного резинового слоя;

ε_b – абсолютная деформация внутреннего резинового слоя.

Так как деформация внутреннего слоя при равных значениях толщины больше, то предлагается, пошагово увеличивая толщину внешнего слоя и уменьшая соответственно



Перемещения средней втулки при различных углах раскрытия внешней втулки по результатам моделирования [получено авторами]

Угол раскрытия наружной втулки	86°	82°	78°	74°	70°	66°	62°	58°	56°
Перемещение средней втулки	0,403	0,411	0,419	0,43	0,443	0,456	0,473	0,49	0,502

Таблица 2

Значения параметров шарниров с равноупругостью резиновых слоёв, по результатам моделирования [получено авторами]

Радиальная жёсткость, кН/мм	232,6	217	188,2	160,5	136,1	118,6	97,6
Угол раскрытия внутренней втулки, град.	90	85	80	75	70	65	60
Угол раскрытия наружной втулки, град.	56	55	52	49	46	44	41

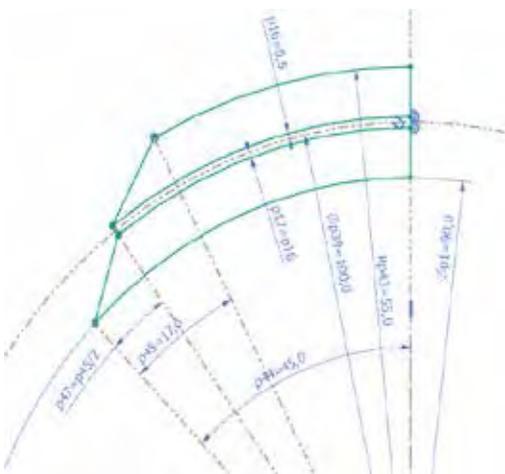


Рис. 5. Параметры формы шарнира, имеющего равноупругие резиновые слои, принятые авторами для моделирования.

толщину нижнего слоя, найти равновесное состояние. Критерием такого состояния будет являться равенство относительных деформаций упругих слоёв.

Для упругой втулки с углом раскрытия 90° и толщиной слоев $h_n = h_b = 4,5$ мм имеем $\delta_n = 0,397$ мм, $\delta_b = 0,398$ мм (рис. 4). Так как узлы наружного слоя жёстко закреплены, $\delta h_n = \delta_n = 0,397$ мм. Нижнее кольцо имеет перемещение 1 мм, поэтому $\delta h_b = 1 - \delta_b = 1 - 0,398 = 0,602$ мм.

$\epsilon_n = 100 \cdot \delta h_n / h_n = 100 \cdot 0,397 / 4,5 = 8,8\%$, $\epsilon_b = 100 \cdot \delta h_b / h_b = 100 \cdot 0,602 / 4,5 = 13,4\%$.



Рис. 6. Форма шарнира с равноупругостью резиновых слоёв по результатам моделирования [получены авторами].

Изменяя значения диаметра оси средней втулки (параметр $\varnothing 39$, рис. 5) перестраиваем модель для последующего анализа.

Полученные значения приведены в табл. 3 [выполнено авторами]

Как следует из табл. 3, для рассмотренного шарнира с параметрами упругих втулок, представленными на рис. 5, равная относительная деформация втулок обеспечивается при значении диаметра центральной линии средней втулки, равной 99,1 мм, что на 0,9 мм меньше первоначального размера, при этом допустимому отклонению в жёсткости втулок $\pm 5\%$ соответствует отклонение среднего диаметра промежуточной обоймы $\pm 0,1$ мм, что составляет менее $\pm 0,1\%$ от диаметра. Данные требования к точности необходимо учитывать при проектировании промежуточной обоймы и пресс-форм.

С другой стороны, в варианте с разными толщинами резиновых втулок углы между свободными поверхностями резиновых втулок и металлическими деталями, к которым они привулканизованы, в собранном шарнире будет близок к 90°, и, таким образом, края резиновых втулок будут прижаты к металлическим деталям за счёт усилия, созданного в результате предварительной деформации сжатия при сборке РМШ. Это облегчает технологическую задачу обеспечения надёжности связи резиновых втулок с металлом в процессе вулканизации. В результате, с точки зрения теории рационального выбора решений при проектировании [20], выбор варианта достижения равнопрочности шарнира необходимо производить, исходя из особенностей конкретной технологической базы производства оснастки и резиновых изделий.

Таким образом, из полученных результатов моделирования следует вывод, что получить двуслойный сферический РМШ с равными относительными деформации резины наруж-

Таблица 3

Значение параметра	Диаметр оси средней втулки, мм						
	100	99,8	99,6	99,4	99,2	99,1	99
h_n , мм	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	4,95	5
h_n , мм	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,05	4
δ_n , мм	0,397	0,432	0,467	0,5	0,533	0,55	0,566
δ_n , мм	0,398	0,433	0,468	0,501	0,534	0,551	0,567
δh_n , мм	0,397	0,432	0,467	0,5	0,533	0,55	0,566
δh_n , мм	0,602	0,567	0,532	0,499	0,466	0,449	0,433
ε_n , %	8,8	9,4	9,9	10,4	10,9	11,1	11,3
ε_n , %	13,4	12,9	12,4	11,9	11,4	11,1	10,8

ной и внутренней втулок практически возможно как путём уменьшения угла раскрытия наружной втулки шарнира, так и путём выбора соотношения толщины слоёв резины наружной и внутренней втулок. При этом в первом случае возникает проблема прочности и жёсткости промежуточной обоймы и прочности связи резины с металлом, во втором – точности изготовления оснастки, в частности выбора допустимых величин зазоров для фиксации в пресс-форме металлических втулок.

Поскольку принципиальную возможность создания двуслойного сферического РМШ с равнонагруженными втулками можно считать доказанной, в качестве одного из дальнейших направлений работ по исследованию подобных РМШ авторы предполагают вести поиск конструкции РМШ, которая бы обеспечила рациональный компромисс между требованиями к прочности элементов РМШ и к точности изготовления технологической оснастки.

Выводы

1. Установлено, что для сферических двуслойных РМШ при равной толщине слоёв резиновых втулок и равном угле их раскрытия наблюдается существенное отличие в их радиальной жёсткости и относительной деформации резины. При размерах шарниров, соответствующих применяемым в экипажной части локомотивов, наблюдается разница относительной деформации внутренней и наружной втулки примерно в 1,5 раза. Вследствие этого нагрузочную способность сферических двуслойных РМШ необходимо определять по величине относительной деформации резины наиболее нагруженной втулки. Необходимо поиск равнодеформируемой конструкции сферического двуслойного РМШ.

2. В процессе анализа существующих конструкций РМШ выявлено два возможных пути

создания равнодеформируемого сферического РМШ, реализуемые в рамках существующей технологии изготовления РМШ методом прессования и литья: изменением угла раскрытия наружной и промежуточной арматуры и изменением соотношения толщин наружной и внутренней резиновых втулок.

3. В процессе исследования предложены параметризованная геометрическая модель сферического двуслойного РМШ и конечно-элементная модель упругой втулки. В результате моделирования исходного варианта шарнира с одинаковыми толщинами и углами раскрытия упругих втулок получено соотношение радиальных жёсткостей наружной и внутренней втулок, близкое к предварительно определённому на основе уравнений теории упругости в перемещениях в сферической системе координат.

4. Установлено, что для достижения равноупругости путём изменения угла раскрытия, угол раскрытия наружной арматуры РМШ должен быть примерно в 1,5 раза меньше угла раскрытия внутренней. Это позволяет на 25 % уменьшить ширину наружной арматуры РМШ, однако при этом возникает проблема прочности и жёсткости наружных краёв промежуточной арматуры.

5. Установлено, что равноупругость втулок шарнира может быть достигнута за счёт их разной толщины, при этом для достижения неравножёсткости втулок в пределах $\pm 5\%$ требуется обеспечить отклонение диаметра промежуточной обоймы менее чем на $\pm 0,1\%$ при изготовлении шарнира.

6. Полученные результаты исследований доказывают практическую возможность создания равнопрочного (с равной жёсткостью втулок) сферического двуслойного РМШ. Вопрос поиска компромиссной конструкции РМШ, приемлемой с точки зрения нагружен-





ности промежуточной обоймы и требований к точности изготовления, требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Космодамианский А. С., Воробьев В. И., Измеров О. В., Шевченко Д. Н., Расин Д. Ю. Двухслойные сферические резинометаллические шарниры и проблемы расчёта их характеристик // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2022. – Т. 81. – № 2. – С. 114–124. DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-2-114-124.
2. Потураев В. Н. Резиновые и резинометаллические детали машин. – М.: Машиностроение, 1966. – 299 с. [Электронный ресурс]: <https://booktech.ru/books/detail-mashin/1108-rezinovye-i-rezino-metallicheskie-detali-mashin-1966-vn-poturaev.html>. Доступ 24.10.2022.
3. Исследования по созданию подвески тягового электродвигателя со сферическими резинометаллическими шарнирами для тепловозов с опорно-осевым приводом. Заключительный отчёт / Отчёт ВНИТИ И-17-85. – Коломна, 1985. – 55 с.
4. Результаты стендовых испытаний подвесок редуктора тягового привода тепловоза 2ТЭ121. Заключительный отчёт / Отчёт ВНИТИ И-101-87. – Коломна, 1987. – 68 с.
5. Разработка методики расчёта резиновых амортизаторов для тепловозов. Заключительный отчёт / Отчёт ВНИТИ И-100-85. – Коломна, 1985. – 96 с.
6. Bourgeot, J. Resilient swivel joint for railway car suspensions, United States Patent 5031545, 1991. [Электронный ресурс]: <https://www.freepatentsonline.com/5031545.html>. Доступ 24.10.2022.
7. Способ сборки сферического резинометаллического шарнира. Патент СССР № 14903807 / В. С. Коссов, А. И. Кокорев, В. А. Лысак, В. А. Пузанов, В. С. Авраменко, О. В. Измеров. Опубл. 15.07.89, бюл. № 26. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/SU1493807A1_19890715. Доступ 24.10.2022.
8. Фролов Н. Н., Молдаванов С. Ю., Лозовой С. Б. Механика тонкослойных резинометаллических элементов: Монография. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2011. – 218 с. ISBN 978-5-91718-112-7.
9. Тихонов В. А. Расчёт вибрационной жёсткости сферического резинометаллического подшипника // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2004. – № 6. – С. 9–14. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17643070>. Доступ 24.10.2022.
10. Guimbal, B. Rotary-wing aircraft rotor head having resilient-return interblade ties with built-in damping. US Patent No. 4915585, 1990. [Электронный ресурс]: <https://patents.google.com/patent/US4915585A/en>. Доступ 24.10.2022.
11. Дудник В. В. Конструкция вертолётов. – Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. – 158 с. ISBN 5-94596-015-2.
12. Мормуль Р. В., Еременко П. П., Шайдуров А. А. Математическое моделирование и эксперимент по определению параметров напряжённо-деформированного состояния эластичных опорных элементов при нестационарном тепловом нагружении // Химическая физика и мезоскопия. – 2019. – Т. 21. – № 4. – С. 502–513. DOI: 10.15350/17270529.2019.4.53. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41522630>. Доступ 24.10.2022.
13. Губанов В. В., Масленников В. Г. Определение долговечности призматического резинометаллического амортизатора сжатия на основе энтропийного критерия // В сб. статей «Вопросы динамики и прочности». Рига: Зинатне. – 1977. – Вып. 34. – С. 139–141.
14. Губанов В. В. Прогнозирование срока службы резинотехнических изделий, работающих при циклических деформациях // В сб. статей «Вопросы динамики и прочности». Рига: Зинатне. – 1982. – Вып. 40. – С. 21–33.
15. Балакин П. Д., Красотина Л. В., Кривцов А. В. Моделирование работы резинометаллического виброизолятора // Омский научный вестник. – 2016. – № 3 (147). – С. 5–9. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25998024>. Доступ 24.10.2022.
16. Пенкин Н. С., Копченков В. Г., Сербин В. М., Пенкин А. Н. Гуммированные детали машин / Под ред. д.т.н., проф. Н. С. Пенкина. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2013. – 245 с. ISBN 978-5-94275-701-4.
17. Соколов Ю. Н., Пономарёв А. С., Дегтярев В. Е. Повышение надёжности узлов тягового привода пассажирских электровозов ЭП1М и ЭП10 // Локомотивинформ. – 2010. – № 6. – С. 4–11.
18. Ахмадеев С. Б., Корнев А. М. Анализ поврежденной механической части электровозов нового поколения в эксплуатации (на примере 2ЭС6) // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава. – 2015. – Ч. 1. – С. 203–208.
19. Алексеева М. С. Анализ работы тепловозов 2ТЭ25А «Витязь» на Дальневосточной железной дороге // Технические науки – от теории к практике: Сб. ст. по матер. LVIII междунар. науч.-практ. конф. № 5 (53). Часть II. – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 61–66. [Электронный ресурс]: <https://web.archive.org/web/20170826160642/https://sibac.info/conf/tech/lviii/55794>. Доступ 24.10.2022.
20. Измеров О. В. [и др.]. Техническая инновационика. Рациональный выбор технических решений при проектировании: Монография / Под ред. О. В. Измерова. – Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2013. – 340 с. ISBN 978-5-93932-610-0. ●

Информация об авторах:

Космодамианский Андрей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тягового подвижного состава РОАТ, Российский университет транспорта, Москва, Россия, askosm@mail.ru.

Воробьев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры подвижного состава железных дорог, Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, vladimvorobiev@yandex.ru.

Измеров Олег Васильевич – соискатель кафедры подвижного состава железных дорог, Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, izmerov@yandex.ru.

Расин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры подвижного состава железных дорог, Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия, dmt1@rambler.ru.

Шевченко Дмитрий Николаевич – ст. преподаватель кафедры тягового подвижного состава РОАТ, Российский университет транспорта, Москва, Россия, shevchenkodn@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022, одобрена после рецензирования 26.12.2022, принята к публикации 16.01.2023.



ТРАНСПОРТНАЯ ПОЛИТИКА 32

Принятие решений на основе многокритериального подхода. Концепция, поиск оптимальных критериев и применение к актуальным проектам.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО 40

Российско-китайское взаимодействие в сфере железнодорожного транспорта.



УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ 49

Международные стандарты, государственное регулирование, предложения по оптимизации оценки.

УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИЕЙ 55

Структура методов в цепи создания ценностей. Универсальность и уникальность методологии применительно к транспортным компаниям.

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА



АВИАКОМПАНИИ И АЭРОПОРТЫ 67

Имитационная модель. Как противостоять сбоям в выполнении расписания?

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ 75, 87

Теория и практика применимости гравитационной модели. Модель прогнозирования и её достоверность.



Контракт жизненного цикла: правовые и технологические аспекты применения.

КРУПНОГАБАРИТНЫЙ ГРУЗ 91

Алгоритм подготовки к перевозке как гарантия своевременной и надёжной доставки.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.47:656.078

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 32–39

Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход



Артур КАРЛОВ

Артур Владимирович Карлов*Российский университет транспорта, Москва, Россия.*✉ info@rut-miit.ru

РИНЦ: 1409-3481, ORCID: 0000-0001-7147-8501.

АННОТАЦИЯ

Транспортная политика включает в себя различные аспекты государственного регулирования работы транспорта и смежных отраслей экономики. При принятии решений в транспортной политике необходимо учитывать широкий спектр факторов и проводить оценку вариантов последствий от тех или иных решений на основе различных критериев, таких как стоимость, воздействие на окружающую среду и социальные эффекты. Двумя широко используемыми инструментами принятия решений в транспортной политике являются многокритериальный анализ решений (MCDA) и анализ затрат и выгод (CBA).

Целью данного исследования является отбор таких методов поддержки принятия решений в транспортной политике, которые позволяли бы учитывать не только монетарные и трудноформализуемые аспекты.

В рамках исследования в качестве практического эксперимента проведён отбор и ранжирование проектов, рассматриваемых в настоящее время в качестве перспективных, на предмет соответствия заданной цели с использованием метода анализа иерархий Т. Саати. Предложен ряд разработанных в рамках исследования критериев для цели прикладной оценки пула проектов и их приоритизации.

На примере данных критериев и метода анализа иерархий разработан новый прикладной инструментарий оценки проектов для последующего использования в системе государственного управления транспортной отраслью. Исследование приводит к выводу, что хотя методы CBA и MCDA имеют свои сильные и слабые стороны, выбор метода должен зависеть от конкретного контекста проекта.

Ключевые слова: транспортная политика, экономика транспорта, методы принятия решений, многокритериальный анализ решений (MCDA), анализ затрат и выгод (CBA), выбор проектов.

Для цитирования: Карлов А. В. Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью транспортной политики является обеспечение безопасности, эффективности, доступности и устойчивости транспортных систем, а также содействие экономическому росту, охране окружающей среды и социальной справедливости.

Принятие решений в области транспортной политики предполагает сопоставление выгод от проекта с соответствующими затратами, рисками и воздействием на окружающую среду. Существуют различные инструменты для принятия решений, чтобы помочь политикам в принятии обоснованных решений: ключевые из них – это методы анализа затрат и выгод (Cost-Benefit Analysis, АЗВ) и многокритериальный анализ (MCDA).

Существуют различные системы оценки проектов транспортной инфраструктуры, однако в большинстве стран мира в той или иной степени проводится традиционный анализ затрат и выгод (АЗВ) [1–3].

Это наиболее распространённая методология, применяемая до настоящего времени для оценки транспортных систем. Методология АЗВ применяется на базе специфических моделей и предоставляет лицам, принимающим решения, денежную оценку осуществимости проекта. Социально-экономический анализ в этом отношении является дальнейшим развитием традиционного АЗВ, являющегося денежным выражением социальных эффектов («выгод») путём перевода социальных целей в финансовые показатели выгод [4].

В последние годы в научной литературе и в государственных регулирующих документах западных стран всё чаще приводятся выводы о том, что помимо социальных затрат и выгод, связанных с транспортом, другие воздействия, которые сложнее выразить в монетарных эффектах, должны также влиять на процесс принятия решений. Широко признано, что на принятие решений, касающихся инфраструктурных проектов, часто влияют другие типы воздействий, помимо монетарно оцениваемых [5; 6]. Тем не менее, как правило, стратегические установки не формализованы в процессе оценки, в различных документах лишь предлагается описать отдельные приоритеты и учитывать их в процессе принятия решения.

Данные установки могут быть реализованы в различных формах в общественных

институтах транспортного планирования – соответственно, методологии оценки проектов в различных странах развиваются, чтобы лучше соответствовать данному тренду [7].

По сути АЗВ предоставляет лицам, принимающим решения, денежную оценку прибыльности альтернативных вариантов проекта. Однако лица, принимающие решения, часто сталкиваются с трудностями в поиске правильного баланса между оценками, полученными в результате АЗВ, и оценками, полученными в результате анализа мнений различных заинтересованных сторон в процессе принятия решений [8].

Целью исследования, изложенного в рамках данной работы, является анализ возможности оценки проектов развития в транспортной отрасли через альтернативные АЗВ системы принятия решений.

В качестве *методов* исследования использовались практико-экспериментальный отбор и последующее ранжирование проектов, рассматриваемых в настоящее время в качестве перспективных, на предмет соответствия заданной цели с использованием метода анализа иерархий Т. Саати.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Существует целый ряд альтернативных методов, которые могут быть использованы для оценки выгод и затрат различных транспортных альтернатив. Большинство относятся к методам анализа затрат и выгод (АЗВ) – это метод *экономической* оценки, который сравнивает затраты на проект с его выгодами. С другой стороны, также применяется и многокритериальный анализ решений (MCDA) – это метод, который учитывает множество критериев при принятии решений [9]. Он предполагает оценку и сравнение альтернатив на основе набора заранее определённых критериев.

Альтернативные методы оценки проектов через призму стратегических установок зачастую основаны на многокритериальном (мультикритериальном) анализе решений (MCDA, МКА), который в большинстве случаев может сочетаться с АЗВ. Многие учёные в целом ряде стран и в России уже изучали данный вопрос [10–12], из их трудов можно сделать вывод, что МКА повышает качество решений и вовлечённость лиц, их принимающих, в анализ ситуации.



При этом в рамках сравнения могут применяться оба метода или смешанные методы, например [13; 14]:

1. Анализ стоимости жизненного цикла (LCCA): LCCA – это метод оценки общих затрат и выгод транспортного проекта на протяжении всего его жизненного цикла, от строительства до вывода из эксплуатации. LCCA может дать более полное представление о затратах и выгодах проекта, чем CBA, который обычно рассматривает затраты и выгоды только за относительно короткий период времени.

2. Анализ экономической эффективности (CEA): CEA – это метод оценки затрат и выгод различных альтернатив, основанный на достигнутых результатах, а не на денежной стоимости этих результатов. CEA может быть особенно полезен для оценки транспортных проектов, которые имеют значительные неденежные преимущества, такие как улучшение качества воздуха или уменьшение заторов.

3. Анализ социальных затрат и выгод (SCBA): SCBA – это метод оценки социальных затрат и выгод транспортных проектов. Он может включать как денежное, так и неденежное воздействие, например, влияние на здоровье и благополучие населения, а также влияние на местный бизнес.

При этом в рамках МКА применяется целый ряд методологий [15; 16]:

1. Аналитический иерархический процесс (АИР).

2. Метод упорядочения предпочтений по сходству с идеальным решением (TOPSIS).

3. Элиминация и выбор, выражающий реальность (ELECTRE).

4. Простое аддитивное взвешивание (SAW).

Краткое описание основных методов МКА может быть представлено следующим образом.

1. Метод анализа иерархий (АИР): АИР – это структурированный многокритериальный метод принятия решений, который предполагает разбиение сложного решения на более мелкие части, создание иерархии критериев решения и альтернатив, а затем оценку относительной важности каждого критерия и эффективности каждой альтернативы по отношению к каждому критерию. АИР использует попарные сравнения и математические алгоритмы для расчёта итогового балла для каждой альтернативы.

2. Метод упорядочения предпочтений по сходству с идеальным решением (TOPSIS): TOPSIS – это многокритериальный метод при-



Рис. 1. Основные методы АЗВ и МКА [разработано автором].

нятия решений, который предполагает создание матрицы альтернатив и критериев, а затем определение сходства каждой альтернативы с идеальным решением и расстояния каждой альтернативы до наихудшего решения. TOPSIS использует математическую формулу для расчёта итогового балла для каждой альтернативы на основе её относительного сходства с идеальным решением.

3. Элиминация и выбор, выражающий реальность (ELECTRE): ELECTRE – это многокритериальный метод принятия решений, который предполагает создание набора критериев, а затем сравнение каждой альтернативы с каждым критерием. ELECTRE использует математические алгоритмы для создания рейтинга альтернатив на основе их соответствия критериям. ELECTRE также позволяет лицам, принимающим решения, устанавливать пороговые значения для каждого критерия, поэтому альтернативы, которые оказываются ниже порогового значения, исключаются из рассмотрения.

4. Простое аддитивное взвешивание (SAW): SAW – это многокритериальный метод принятия решений, который предполагает присвоение весов каждому критерию, а затем оценку каждой альтернативы по каждому критерию. SAW рассчитывает итоговый балл для каждой альтернативы путём умножения оценки каждого критерия на его вес и суммирования результатов. SAW прост в использовании и понимании, но может быть чувствителен к изменениям в весовых коэффициентах критериев.

Каждый из этих альтернативных методов имеет свои сильные и слабые стороны, и наиболее подходящий метод будет зависеть от конкретной проблемы принятия решения, имеющихся данных и информации, а также целей и задач транспортной политики. Используя комбинацию методов, можно получить более полную и надёжную оценку затрат и выгод различных транспортных альтернатив.

Важно отметить, что методы МКА часто являются более комплексными и позволяют проводить более целостную оценку проектов, в то время как методы оценки затрат и выгоды больше сосредоточены на финансовой целесообразности.

К сожалению, результаты анализа при применении МКА в значительной степени зависят от мнения экспертов и поэтому менее объективны, чем в случае метода анализа затрат и выгоды и анализа эффективности затрат. Алгоритм метода МКА следующий:

1) разрабатываются сценарии достижения целей регулирующего воздействия;

2) отбираются критерии достижения целей и задач регулирования (обязательное условие – критерии должны быть измеряемыми);

3) в зависимости от важности целей регулирования каждому критерию приписывается определённый вес (как правило, от 0 до 1);

4) для каждого сценария проводится оценка по каждому из критериев по определённой балльной шкале (как правило, от 0 до 100 баллов);

5) суммируются баллы по каждому сценарию с учётом весов критериев;

6) выбирается оптимальный сценарий.

На всех этапах МКА, особенно на третьем и четвёртом, к анализу активно привлекается экспертная группа, участники которой обладают достаточной квалификацией и опытом в сфере регулирования. Несмотря на некоторый субъективизм результатов МКА, данный метод может успешно применяться при ограниченном количестве монетизируемых последствий регулирующего воздействия.

Несмотря на то, что в мире существует практика применения МКА для оценки проектов, на сегодняшний день данный процесс не является неотъемлемой частью схемы оценки инфраструктурных проектов. В странах с развитыми институтами оценки АЗВ (например, в Швеции и Дании [17]) методология только изучается на предмет использования в качестве инструмента поддержки принятия решений из-за её зависимости от субъективного качественного вклада [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель принятия решений на базе МКА. Теоретическая часть

Для определения приоритетов государственной политики, выражающихся в реализации практических мероприятий, возможно

применять адаптированный метод анализа иерархий (далее – МАИ), который был предложен в конце 1970-х гг. американским математиком Т. Саати [19].

Метод состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов с использованием парных (попарных) сравнений.

Применение этого метода для формирования рациональных решений в области транспортной политики обусловлено *неформализуемыми принципами государственных приоритетов* в области проектов развития транспорта, технологических платформ и других масштабных элементов, используемых при реализации транспортной политики – например, принципов геополитики, технологического суверенитета и т.д.

Сложности формирования транспортной политики связаны не только с масштабностью решений, но и с многоплановостью последствий их реализации и, как следствие, с несколькими критериями, не все из которых могут иметь количественные значения.

В рамках Транспортной стратегии Российской Федерации¹ и, таким образом, при реализации транспортной политики страны декларируется ряд принципов для развития проектов. Их условно можно сгруппировать следующим образом:

1) развитие инфраструктуры для грузового движения;

2) увеличение мобильности населения;

3) обеспечение технологического суверенитета;

4) соответствие принципам ESG – экологический принцип;

5) повышение доступности удалённых территорий.

Данные принципы и их применимость существенно отличаются от кейсов конкретных проектов, поэтому традиционные методы поддержки принятия решений, как в случае с отдельными инвестиционными проектами [20], не могут быть применены. В рамках настоящего исследования для цели прикладной оценки пула проектов и их приоритизации на базе адаптированной методологии

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhL10nUT91RjCbeR.pdf>. Доступ 05.12.2022.



Критерии приоритизации при оценке пула проектов [разработано автором]

№	Критерий	Описание
1.	Ресурсоёмкость	Потребность в финансовых, кадровых, земельных и иных ресурсах, в т.ч. от смежных отраслей
2.	Монетарное соотношение затраты–выгоды	Результат оценки по методу анализа затрат и выгод (для целей настоящего исследования взято допущение о готовности проведённой оценке)
3.	Вклад в технологический суверенитет	Факторы, вносящие наибольший вклад с точки зрения потенциала развития национальной собственной промышленной базы и интеллектуальных разработок
4.	Геополитические эффекты	Факторы, обеспечивающие учёт как позитивных, так и негативных внешнеполитических воздействий на направление грузопотоков и распределение спроса на транспортные услуги, и при необходимости нивелирование негативных последствий (например, санкций)
5.	Влияние на мобильность населения	Факторы, влияющие на транспортную подвижность населения, его возможность совершать поездки
6.	Экологическое воздействие	Влияние на окружающую среду с учётом географии проекта

Т. Саати дополним существующий и сформируем собственный ряд критериев (табл. 1).

В методе анализа иерархий Томаса Саати элементы одинаковых уровней должны быть сопоставимы друг с другом с точки зрения возможности установления приоритетов. Критерии всех уровней иерархии в методе анализа иерархий должны иметь общую направленность – либо положительную, либо отрицательную.

В зависимости от глобальной цели значимость векторов будет меняться.

Например, если приоритетом является развитие перевозок с дружественными странами, то фокус развития будет смещаться в пользу критерия 4 – геополитических эффектов. При приоритете в социальном аспекте – в пользу критерия 5 – мобильности населения.

Таким образом, для определения конкретных шагов (альтернатив) необходимо предложить методику отбора проектов на уровне принятия решений (без оценки социально-экономических эффектов) в контексте выбора глобальной цели и приоритетов (векторов) её реализации.

Для целей исследования предложим цель «Развитие транспортной системы в интересах независимой экономики и граждан страны» и попробуем определить распределение альтернатив, в пользу которых при такой цели смещается выбор.

Модель принятия решений на базе МКА. Практическая часть

В качестве альтернатив для рассмотрения в качестве примера применения указан-

ного подхода можно взять четыре реальных перспективных мега-проекта (рис. 2)²:

1. Трасса Джубга–Сочи – сложный проект строительства «Южного кластера» протяжённостью 152,5 км включает в себя обходы Сочи, микрорайона Адлер, города Туапсе, поселка Лазаревское. Также предусмотрено сооружение совершенно новой трассы от города Горячий Ключ до села Агой. Стоимость оценивается в свыше 2,4 трлн руб.³

2. Проект железнодорожного сообщения от Дербента (Самур) до порта Бендер-Аббас через территорию Азербайджана и Ирана. Проект предполагает совместное строительство и реконструкцию ширококолейной железной дороги протяжённостью свыше 1,5 тыс. км. Стоимость реализации только части на территории Ирана по отдельным экспертным оценкам может достичь 2 трлн руб.⁴

3. Трасса «Меридиан» – проект строительства автомобильной трассы от границы с Казахстаном до границы с Белоруссией

² Оценка стоимости реализации проектов проведена на базе анализа сообщений в СМИ и является ориентировочной, используется исключительно для иллюстрации принципиальной возможности построения модели.

³ Рыжкова Е. Тупиковый путь к морю. Стоимость трассы Джубга–Сочи оценили в 2,4 трлн рублей // Газета «Коммерсантъ» (Краснодар) № 189 от 15.10.2020. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/4531055>. Доступ 10.02.2023.

⁴ См., напр., Иран ускоряет строительство транспортного коридора Север–Юг // Железные дороги мира. – 26.04.2022. [Электронный ресурс]: <https://zdmira.com/news/iran-uskoryaet-stroitelstvo-transportnogo-koridora-sever-yug/>; Гайва Е. Во что обойдется логистический коридор «Север–Юг» // Российская газета. – 22.11.2022. [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2022/11/22/persidskiemotivny.html>. Доступ 10.02.2023.

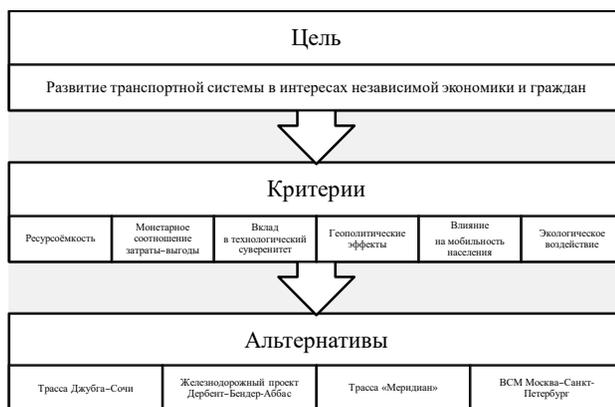


Рис. 2. Логика модели принятия решений на конкретных примерах [разработано автором].

для организации нового маршрута транзита из Азии в Европу. Стоимость превышает 0,6 трлн руб.⁵

4. Проект строительства высокоскоростной магистрали Москва–Санкт-Петербург. Стоимость проекта – свыше 2 трлн руб.⁶

Чтобы установить приоритеты критериев, получить оценки для альтернативных решений, строятся матрицы парных сравнений $A = \| a_{ij} \|$. Элемент a_{ij} матрицы парных сравнений является результатом измерения по фундаментальной шкале степени предпочтительности альтернативы A_i по отношению к альтернативе A_j .

Шкала критериев представляет собой числовой ряд от 1 до 9 с тремя основными точками:

- 1 – равноценность...;
- 5 – сильное превосходство...;
- 9 – высшее превосходство.

Промежуточные числа 2–4, 6–8 используются для уточнения внутри шкалы.

С помощью матрицы попарных сравнений экспертным методом определены веса критериев на базе имеющихся данных о рассматриваемых проектах, включая их стоимость (табл. 2).

Ключевым критерием метод экспертной оценки в рамках заданной цели показал критерий геополитики.

С учётом заданных весов по итогам оценки сформирован весь ряд альтернатив (табл. 3).

По критерию «ресурсоёмкость» лучший проект: трасса «Меридиан» за счёт низкой по сравнению с остальными проектами стоимости реализации.

По критерию «Монетарное соотношение затраты–выгоды» лучший проект: ВСМ Москва–Санкт-Петербург, так как он предполагает высокий уровень социально-экономических выгод за счёт агломерационных эффектов [21].

По критерию «Вклад в технологический суверенитет» лучший проект: ВСМ Москва–Санкт-Петербург, так как он предполагает строительство высокоскоростного подвижного состава и локализацию производства в Российской Федерации.

По критерию «Геополитические эффекты» лучший проект: железная дорога Дербент–Бендер–Аббас, так как он обеспечивает открытие нового железнодорожного коридора до Персидского залива, обеспечивающего бесшовную перевозку российских

Таблица 2

Результат попарных сравнений и взвешивания критериев [разработано автором]

Критерий	Приоритет
Ресурсоёмкость	0,0401
Монетарное соотношение затраты-выгоды	0,1520
Вклад в технологический суверенитет	0,2497
Геополитические эффекты	0,4186
Влияние на мобильность населения	0,0841
Экологическое воздействие	0,0554

⁵ Фёдорова Н., Кореняко А., Демченко Н. Трассу «Меридиан» за \$600 млрд из Китая в Европу перенаправят к Каспию // РБК от 16.06.2022. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/business/16/06/2022/62ab0a869a7947294b7ca718>. Доступ 10.02.2023.

⁶ Бойко А., Волобуев А., Гринкевич Д. Власти откажутся от финансирования ВСМ Москва–Санкт-Петербург из ФНБ. Проект вновь откладывается в долгий ящик // Ведомости от 24.03.2022. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/03/24/915136-vlasti-finansirovaniya-vsm-moskva>. Доступ 10.02.2023.



Результат попарных сравнений и взвешивания проектов [разработано автором]

Приоритет	Ресурсоёмкость	Монетарное соотношение затраты–выгоды	Вклад в технологический суверенитет	Геополитические эффекты	Влияние на мобильность населения	Экологическое воздействие
Трасса Джубга–Сочи	0,0578	0,2779	0,1275	0,0570	0,2304	0,0474
Железнодорожный проект Дербент–Бендер–Аббас	0,1359	0,0861	0,0997	0,7339	0,0308	0,2335
Трасса «Меридиан»	0,6850	0,1099	0,0684	0,1571	0,1358	0,1043
ВСМ Москва–Санкт-Петербург	0,1213	0,5261	0,7044	0,0521	0,6030	0,6147

грузов и импорт необходимых товаров в Российскую Федерацию.

По критерию «Влияние на мобильность населения» лучший проект: ВСМ Москва–Санкт-Петербург, т.к. он существенно влияет на мобильность двух крупнейших агломераций страны с общим количеством жителей свыше 23 млн человек.

По критерию «Экологическое воздействие» лучший проект: ВСМ Москва–Санкт-Петербург, т.к. он позволяет переключить большее количество населения на более экологически чистую, по сравнению с автомобильным и воздушным транспортом, железную дорогу.

Итоговый результат матриц попарных сравнений представлен в табл. 4.

Наилучшей альтернативой в рамках декларируемой цели стал проект ВСМ Москва–Санкт-Петербург, при этом разрыв с проектом строительства железной дороги до Персидского залива минимален.

Оба проекта наилучшим образом соответствуют двуединой цели «Развитие транспортной системы в интересах независимой экономики и граждан страны»: проект ВСМ – в части обеспечения технологического суверенитета, экологии и повышения мобильности граждан, проект железной дороги до Персидского залива – в части обеспечения геополитических долгосрочных задач.

При уточнении цели – например, при смещении веса критериев в сторону исключительно геополитической составляющей, проект железной дороги до Бендер–Аббаса стал бы победителем отбора по представленной модели. И, наоборот, – при росте веса «социальных» показателей при сдвиге приоритетов в пользу повышения качества пассажирских услуг в стране, перевес ВСМ был бы значителен.

ВЫВОДЫ

В рамках исследования рассмотрены различные методы поддержки принятия решений в рамках систем АЗВ и МКА. Проанализирована возможность применения МАИ на конкретном примере.

Через формализацию критериев отбора в рамках декларируемой цели удалось доказать применимость адаптированного метода анализа иерархий для целей определения приоритетов транспортной политики.

Подытоживая сравнение методов оценки проектов, следует отметить, что АЗВ предусматривает строгие процедуры оценки, в то время как методы МКА базируются на экспертной оценке и менее формализованных критериях, что даёт аналитикам при использовании МКА относительно большую степень свободы при проведении оценки.

При этом представляется, что, как и указано в исходной гипотезе исследования, выбор конкретного инструментария оценки проектов должен основываться на специфике того или иного проекта, а также его альтернатив. Очевидно, что во внимание должны приниматься и факторы наличия объективных средств анализа проектов – в том числе таких, как транспортно-экономический баланс [22].

Сочетание различных методов оценки проектов вкупе с чёткой постановкой целей

Таблица 4
Итоговый результат попарных сравнений и взвешивания проектов по МАИ [разработано автором]

Альтернатива	Приоритет
Трасса Джубга–Сочи	0,1223
Железнодорожный проект Дербент–Бендер–Аббас	0,3662
Трасса «Меридиан»	0,1443
ВСМ Москва–Санкт-Петербург	0,3673

и формированием административных процедур для ранжирования перспективных проектов развития транспортной инфраструктуры являются ключевыми факторами повышения качества реализации транспортной политики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Browne, D., Ryan, L. Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. *Environmental Impact Assessment Review*, 2011, Vol. 31 (3), pp. 226–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.11.001>.

2. Ледней А. Ю. Методы оценки экономической эффективности инфраструктурных проектов на транспорте // *Экономика железных дорог*. – 2019. – № 9. – С. 14–24. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39554648>. Доступ 10.02.2023.

3. Медведев П. В. Оценка общественной эффективности транспортных инфраструктурных проектов на основе анализа «затраты–выгоды» // *Вестник университета*. – 2015. – № 10. – С. 125–131. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24895593>. Доступ 10.02.2023.

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

5. Mackie, P., Worsley, T., Eliasson, J. Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 2014, Vol. 47 (1), pp. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.013>.

6. Barfod, M. B., Salling, K. B. A new composite decision support framework for strategic and sustainable transport appraisals. *Transportation Research. Part A: Policy & Practice*, 2015, Vol. 72, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.12.001>.

7. Barfod, M. B. Supporting sustainable transport appraisals using stakeholder involvement and MCDA. *Transport*, 2018, Vol. 33 (4), pp. 1052–1066. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6596>.

8. Beukers, E., Bertolini, L., te Brömmelstroet, M. Why Cost Benefit Analysis is perceived as a problematic tool for assessment of transport plans: a process perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2021, Vol. 46 (1), pp. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.004>.

9. Macharis, C., Bernardini, A. Reviewing the use of multi-criteria analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 2015, Vol. 37, pp. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>.

10. Nalmpantis, D., Roukouni, A., Genitsaris, E. [et al]. Evaluation of innovative ideas for Public Transport proposed by citizens using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *European Transport Research Review*, 2019, Vol. 11, art. 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0356-6>.

11. Гулакова О. И. Теоретико-методологические основы измерения общественного эффекта инфраструктурных проектов // *Вестник Новосибирского государственного университета*. Серия: Социально-экономические науки. – 2012. – Т. 12. – № 4. – С. 146–157.

[Электронный ресурс]: https://woeam.elpub.ru/jour/article/view/531?locale=en_US. Доступ 10.02.2023.

12. Mardani, A., Jusoh, A., Md. Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., Valipour, A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications. – A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*, 2015, Vol. 28 (1), pp. 516–571. DOI: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>.

13. Rosik, P., Wójcik, J. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. *Sustainability*, 2023, Vol. 15 (1), 548. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010548>.

14. Глущенко К. П. Оценка общественной эффективности инвестиционных проектов // *Вестник НГУЭУ*. – 2019. – Вып. 3. – С. 10–27. DOI: <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2019-3-010-027>.

15. Brucker, K. De, Macharis, C., Verbeke, A. Multi-criteria analysis in transport project evaluation: an institutional approach. *European Transport – Trasporti Europei*, 2011, Vol. 47, pp. 3–24. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Cathy-Macharis/publication/227580366_Multi-criteria_analysis_in_transport_project_evaluation_An_institutional_approach/links/0912f5135ff873066400000/Multi-criteria-analysis-in-transport-project-evaluation-An-institutional-approach.pdf. Доступ 10.02.2023.

16. Multi-criteria decision analysis for use in transport decision making. 2 ed. Eds.: Barfod, M. B., Leleur, S. *Compendium/lecture notes, DTU Transport*, 2014. [Электронный ресурс]: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/multi-criteria-decision-analysis-for-use-in-transport-decision-making>. Доступ 10.02.2023.

17. Salling, K. B., Barfod, M. B., Ridley Pryn, M., Leleur, S. Flexible decision support for sustainable development: the SUSTAIN framework model. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2018, Vol. 18 (3). DOI: <https://doi.org/10.18757/ejtr.2018.18.3.3242>.

18. Turskis, Z., Zavadskas, E. K. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 2011, Vol. 2, pp. 397–427. DOI: <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>.

19. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980, 287 p. Internet Archive: [analytichierarch0000saat](https://www.archive.org/details/analytichierarch0000saat). ISBN 100070543712.

20. Ефимова О. В., Хомутов А. С. Критерии эффективности принятия управленческих решений с применением бизнес-симуляции // *Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии*. – Москва, 21 апреля 2021 года. – М.: Инфра-М, 2021. – С. 301–303. ISBN 978-5-16-017171-5.

21. Романов А. С., Лякина М. А. Механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности, обусловленной развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения // *Сетевой электронный журнал «Транспортные системы и технологии»*. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 127–142. DOI: <https://doi.org/10.17816/transysyst202064127-142>.

22. Ефимова О. В., Бабошин Е. Б. Трансформация методологии формирования транспортно-экономического баланса // *Экономика железных дорог*. – М.: Издательство Прометей. – 2022. – № 6. – С. 29–38. [Электронный ресурс]: <https://rucont.ru/efd/746322> [ограниченный доступ]. ●

Информация об авторе:

Карлов Артур Владимирович – младший научный сотрудник Российского университета транспорта, Москва, Россия, info@rut-miit.ru.

Статья поступила в редакцию 10.02.2023, одобрена после рецензирования 13.03.2023, принята к публикации 15.03.2023.

• Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 32–39

Карлов А. В. Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.224/225.656.2
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-5>

Тенденции развития китайско-российских отношений в сфере железнодорожного транспорта



Тэн Чжан

ОАО Группа компаний «Первый китайский железнодорожный проектно-изыскательский институт», Сиань, провинция Шэньси, Китайская Народная Республика.

✉ tengteng@yandex.ru.

Тэн ЧЖАН

АННОТАЦИЯ

В статье анализируется характер транспортных отношений между Россией и Китаем с целью выявления основных тенденций и прогнозов относительно развития сотрудничества между двумя странами в этой сфере.

Приводится краткий экскурс в историю взаимодействия партнеров, включая строительство магистралей, которые послужили повышению эффективности путей сообщения.

Акцент при анализе перспектив делается на совершенствование транзитных маршрутов в рамках проектов «Один пояс – один путь», «Восточный полигон». Приводится информация о строительстве новых и модернизации действующих железнодорожных магистралей с привлечением китайского и российского инвестирования, включая мост через реку Амур, Керакский тоннель, развитие транзитного сообщения через Казахстан и Монголию. Подчеркивается роль транспортного сообщения для эффективного сотрудничества в энергетической области.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, логистика, транспортная инфраструктура, грузовые и пассажирские перевозки, китайско-российские транспортные связи.

В статье рассматриваются два типа перевозок – грузовые и пассажирские. В обоих случаях наблюдается стабильный рост взаимодействия, поскольку в случае с грузовой транспортировкой партнерство благотворно сказывается на энергетической интеграции, в то время как эффективность пассажирской логистики детерминруется железнодорожной связью между городами России и Китая.

Отмечается сотрудничество российских и китайских компаний в сфере передовых технологий и инвестиций в области высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Делается вывод о взаимовыгодном характере и перспективности укрепления сотрудничества в сфере железнодорожного транспорта, его роли в развитии региона и транспортной инфраструктуры, а также в увеличении объема грузовых и пассажирских перевозок.

Для цитирования: Тэн Чжан. Тенденции развития китайско-российских отношений в сфере железнодорожного транспорта // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 40–48. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-5>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что в истории взаимоотношений Китая и России имели место разные периоды как подъёма, так и упадка, в XXI веке они переживают определённо лучший этап в своей истории. И в этом плане понимание истории является ключевым в прогнозировании дальнейших путей взаимодействия.

Ввиду расположения экономических и политических центров России и Китая на значительном географическом удалении друг от друга, отношения в сфере транспорта являются ключевыми в двустороннем и многостороннем партнёрстве. Сухопутные артерии не только играли ключевую роль на заре возникновения логистических связей, но и послужили основой для формирования новой парадигмы экономической стабильности и безопасности региона.

Если обратиться к этапу зарождения железнодорожного сообщения между странами, то в начале XIX века Российская империя для укрепления своего влияния в регионе приступила к строительству «Великого Сибирского Пути» – Транссибирской железнодорожной магистрали. На тот момент грузовые и пассажирские перевозки осуществлялись через территорию Китая – страна была важным транзитным пунктом на пути из Европы в Восточную Азию и обратно.

На рубеже XIX и XX веков строительство Китайско-Восточной железной дороги (КВЖД) послужило стимулом к развитию региона Манчжурии, где, например, помимо инфраструктурного строительства, был основан город Харбин. Во времена Советского Союза сотрудничество между Россией и Китаем в сфере железнодорожного транспорта укреплялось. Были построены новые транспортные артерии. КВЖД получила развитие и трансформировалась в Чанчунь-Харбинскую магистраль, которая сократила расстояние между Восточной Сибирью и Северо-Восточным Китаем.

В настоящее время страны активно развивают сотрудничество в сфере железнодорожного транспорта, что находит отражение в реализации крупных проектов, которые способствуют развитию железнодорожной инфраструктуры и созданию эффективных транзитных маршрутов между партнёрами. В этой связи актуальным является рассмотрение основных инициатив, в рамках которых реализуются логистические проекты.

Целью данной статьи является подробный анализ кооперации Китая и России в области железнодорожной логистики. Рассматриваются платформы как для двустороннего, так и многостороннего сотрудничества, основные инициативы, в рамках которых реализуются те или иные логистические проекты, предлагаются прогнозы, касающиеся направлений развития железнодорожного транспорта в контексте масштабных геополитических сдвигов и новых глобальных вызовов. Используются *методы* экономического анализа, контент-анализа научных публикаций, ко-логический метод.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Существует несколько мегапроектов, направленных на углубление российско-китайского взаимодействия в сфере транспорта, в том числе и по вопросам инфраструктурного развития.

Инициатива «Один пояс – один путь»¹, предложенная Китаем в 2013 году для укрепления экономических связей и сотрудничества между Китаем и странами Евразии (различные аспекты инициативы проанализированы, например, в [1–3] и других источниках), рассматривается как большой геоэкономический инфраструктурный проект, в рамках которого Россия и Китай действуют в тандеме. Одна из ключевых составляющих «Шёлкового пути XXI века» – развитие железнодорожного транспорта. Ведется активная работа над модернизацией и строительством новых железнодорожных магистралей, которые связывают страны и обеспечивают транзитные маршруты для грузов из Китая в Европу и обратно. Кроме того, Китай активно инвестирует развитие транспортной инфраструктуры в России, способствуя появлению железных дорог, портов и логистических хабов.

Развитие российско-китайских отношений играет важную роль в реализации политики, которую можно назвать «разворотом на Восток» и которая была предложена Россией ещё в начале 10-х годов XXI века. Данная инициатива рассматривается как ответная реакция на увеличение рисков, вызванных недружественной политикой европейских партнёров

¹ Belt and Road Initiative. The World Bank. [Электронный ресурс]: <https://www.worldbank.org/en/topic/regional-integration/brief/belt-and-road-initiative>. Доступ 20.02.2023.



в отношении России. Политика не только направлена на снижение зависимости от европейских стран, но и на укрепление сотрудничества России с азиатскими и Тихоокеанскими странами, в том числе – с Китаем. Китай выступает в качестве ключевого партнёра России в рамках данной политики. Обе страны придерживаются принципов мультиполярности, справедливости и взаимовыгодного сотрудничества, реализуя их посредством активного сотрудничества в различных секторах.

В рамках данных проектов Россия и Китай активно развивают двусторонние транспортные связи и логистическую инфраструктуру, что включает строительство новых железнодорожных магистралей, развитие портов, модернизацию транспортных коммуникаций и создание транзитных коридоров для грузового и пассажирского транспорта. Развитие путей сообщения позволяет облегчить режим торговли между странами и взаимных инвестиций и обеспечивает более эффективное транспортное сообщение.

Так, в 2022 году было завершено строительство железнодорожного моста через реку Амур. Проект реализован в рамках межправительственного соглашения через Российско-Китайский инвестиционный фонд, основными дольщиками проекта также стали ОАО «Российские железные дороги» и ВЭБ.ДВ (56,25 %, 25 % и 18,75 % соответственно). Общий объём инвестиций превысил 10 млрд рублей. Дополнительно были построены подъездные железнодорожные пути в Еврейском автономном округе². Максимальная пропускная способность железнодорожной артерии составляет до 24 млн тонн грузов в год в обе стороны^{3,4}.

В целом развитие российско-китайских отношений способствует укреплению экономического и политического сотрудниче-

ства всего евразийского региона, созданию устойчивой и взаимовыгодной партнёрской связи для обеспечения мира, стабильности и процветания. В контексте сотрудничества России и Китая в сфере транспорта стоит выделить два основных вида железнодорожных перевозок: грузовые и пассажирские. Ключевые перспективы взаимодействия в вопросах эксплуатации и строительства железнодорожных путей включают разные аспекты.

Грузовые перевозки

Традиционно сфера грузоперевозок в отношениях России и Китая занимает видное место. Развитие маршрутов и транзитных коридоров между двумя странами предоставляет возможности не только для более эффективной доставки грузов, но и укрепляет всестороннее партнёрство двух стран. Экономическая мощь Китая делает его одним из крупнейших потребителей энергоресурсов, а Россия обладает их огромными запасами. Данная взаимозависимость обуславливает наличие долгосрочных договоров на поставку энергетических ресурсов – угля, нефти и газа. Экспорт российских энергетических ресурсов в Китай и импорт китайских товаров в Россию по железной дороге обладают большим потенциалом для дальнейшего развития. Страны продолжают развивать инфраструктуру железнодорожных путей для улучшения грузовых перевозок. Совместная эксплуатация, модернизация и строительство новых железнодорожных магистралей способствуют снижению времени и затрат на доставку грузов между двумя партнёрами, что стимулирует обоюдный рост экономик, а также способствуют снижению рисков при сбоях в цепочках поставок.

Россия – один из крупнейших мировых производителей и экспортеров угля. Китай, же является одним из крупнейших потребителей данного энергетического ресурса. Между двумя странами существует активный поток железнодорожных перевозок ресурса. Уголь доставляется из российских регионов – Кузбасса и Забайкалья – в китайские порты и на энергетические предприятия. Кроме угля и руды, между Россией и Китаем также осуществляются перевозки других ресурсов, например, леса и нефти. Российский лес экспортируется для использования в строи-

² В России открыли первый трансграничный железнодорожный мост в Китай // ИА «РИА Новости», 27.04.2022. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=202297>. Доступ 20.02.2023.

³ Потаева К. На Амуре завершили самый масштабный долгострой // «Ведомости». [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/04/27/920079-na-amure-zavershili>. Доступ 20.02.2023.

⁴ ERAI – Eurasian Rail Index Alliance. Обзор. Ноябрь 2022 года. Евразийский ж.д. маршрут: перспективы расширения экспорта из России в Китай. [Электронный ресурс]: https://index1520.com/upload/medialibrary/c7e/ijpp1258ghzgmnkjwd16gntf0qbrnjii/221218_OTLK_Rus.pdf. Доступ 20.02.2023.

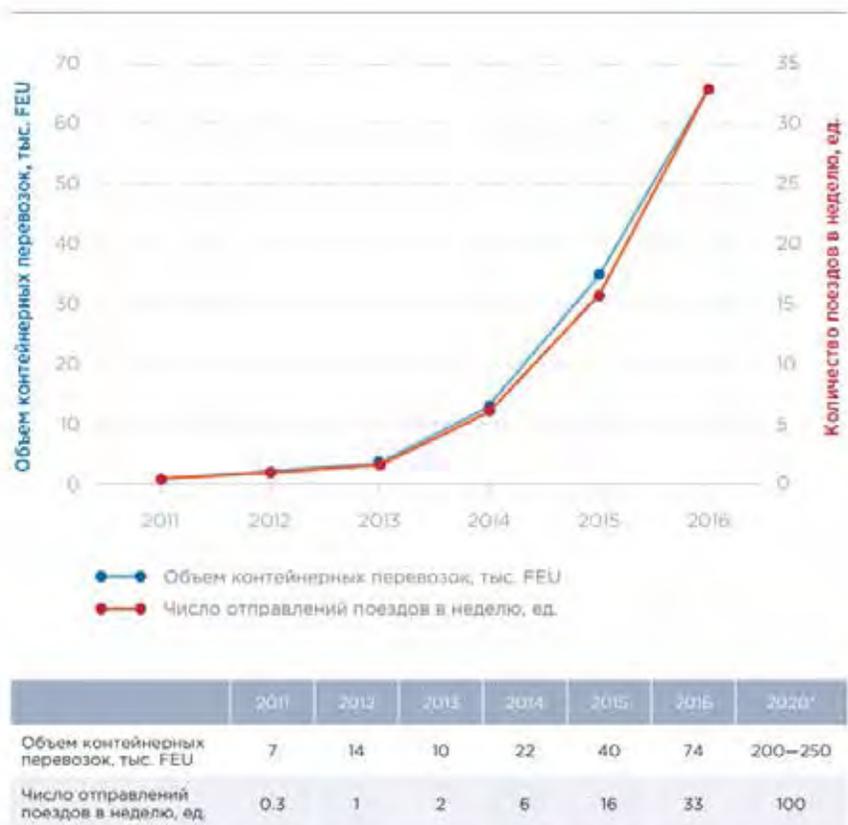


Рис. 1. Данные по объёму контейнерных перевозок и числу отправок поездов по маршруту Китай–Европа–Китай [9].

тельстве и производстве, а нефть поставляется компаниям для обеспечения энергетического спроса. Перевозки энергетических ресурсов между Россией и Китаем являются важной составляющей торгово-экономического сотрудничества между странами. Железнодорожные пути играют значительную роль в обеспечении надёжной и эффективной доставки грузов, что положительно сказывается на экономической интеграции и развитии в регионе.

После окончания пандемии Covid-19 произошли значительные изменения в сфере мировой логистики и транспорта. Стоит отметить резкий рост потока грузов из Китая в Россию после спада периода пандемии. Данный феномен можно объяснить увеличившимся спросом на мультимодальные перевозки, которые включают железнодорожные, автомобильные и морские пути.

Рост частоты отправления контейнерных поездов и объёмов перевозок на маршрутах для периода 2011–2016 гг. был проанализирован авторами доклада [9].

Рост продолжался и в последующие годы. По данным АО «ИК «РЖД-Инвест»⁵, в 2020 году он даже превысил прогнозировавшиеся авторами (рис. 1 [9]) объёмы и достиг 550,8 тыс. TEU (рис. 2).

Нарушения цепочек поставок, вызванные пандемией Covid-19, вынудили страны интенсифицировать развитие транспортной инфраструктуры. Выделяется также тенденция к диверсификации направлений новых путей сообщений. Так, в рамках инициативы «Один пояс – один путь» реализуется строительство несколько транспортных коридоров.

Совокупным результатом такого взаимодействия служит то, что по данным ОАО «РЖД» 2022 год стал рекордным по объёму железнодорожных перевозок, а за первые месяцы 2023 года объём перевозок в направ-

⁵ Динамика железнодорожных контейнерных перевозок стран пространства 1520 в сообщении Китай–Европа–Китай, тыс. TEU. Аналитика АО «РЖД-Инвест» специально для форума PRO//ДВИЖЕНИЕ.1520. [Электронный ресурс]: https://gudok.ru/Аналитика_МеждународныеТранспортныеКоридоры_РЖД-Инвест.pdf. Доступ 21.02.2023.



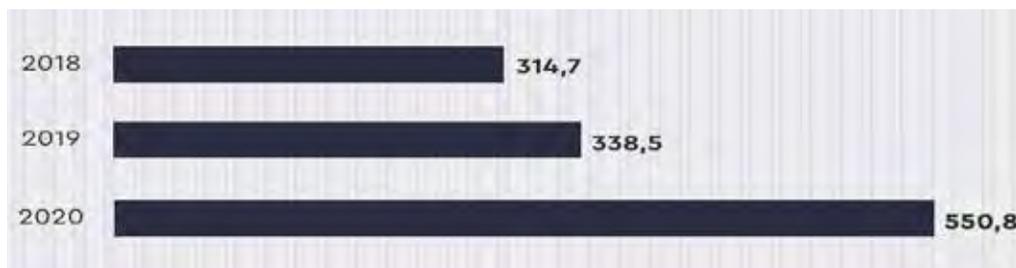


Рис. 2. Динамика железнодорожных контейнерных перевозок стран пространства 1520 в сообщении Китай–Европа–Китай, тыс. TEU⁶. Источник: данные Организации сотрудничества железных дорог, анализ АО «РЖД-Инвест».

лении Китая дополнительно вырос на 85 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Так в 2022 году удалось достичь объема в 123 млн тонн грузов, а за январь–февраль 2023 года – 26,9 млн тонн⁶. При сохранении текущих темпов, объем может составить до 160 млн тонн.

Говоря о перспективах развития данного сектора, стоит упомянуть важность не только прямого трансграничного сообщения Россия–Китай, в том числе реконструкции и строительства дополнительных новых железнодорожных пунктов пропуска на границе России и КНР (например, Забайкальск⁷), но и взаимодействие через транзитные коридоры Монголии и Казахстана, например, строительство третьего пункта пропуска на китайско-казахстанской границе с примыкающей железнодорожной линией Аягöz–Бахты⁸.

Пассажирские перевозки

В данной сфере сотрудничества между Россией и Китаем имеет место активное развитие, поскольку пассажирские поезда связывают города обеих стран и обеспечивают комфортабельное и удобное перемещение людей. Усиление партнёрских отношений в данной области предоставляет больше возможностей для развития туризма и международных перевозок. В рамках строительства

новых железнодорожных магистралей и модернизации существующих маршрутов Россия и Китай продолжают улучшать инфраструктуру для логистики пассажироперевозок, что включает разработку проектов новых высокоскоростных железных дорог, улучшение условий комфорта и безопасности для пассажиров. Перспективы взаимодействия в вопросах эксплуатации и строительства железнодорожных путей между Россией и Китаем в грузовых и пассажирских перевозках обещают дальнейшее развитие транспортного сотрудничества, облегчение транзита и повышение эффективности перемещения пассажиров и грузов между двумя странами.

Пандемия Covid-19 внесла некоторые коррективы в динамику развития железнодорожных перевозок. Реализация политики «нулевой терпимости» в качестве ограничительной эпидемиологической меры несколько замедлила темпы экономического развития Китая. Закрытие границ отразилось и на объемах пассажирских и грузовых перевозок, вызвало их снижение. К примеру, ввиду наличия ограничительных мер, мост через реку Амур был открыт только в 2022 году, хотя его строительство было завершено ещё в 2019 году.

Многостороннее сотрудничество

Перспективным является дальнейшее сопряжение усилий России и Китая, в частности, в сфере железнодорожного транспорта, в формате международных организаций. Наиболее примечательно расширение такой региональной организации, как Шанхайская организация сотрудничества. Привлечение новых партнёров, таких как Пакистан и Иран, способствуют укреплению китайско-российских отношений не только в двустороннем, но и в многостороннем формате. Это

⁶ РЖД зафиксировали рост перевозок грузов между Россией и КНР на 85 % с начала года // ИА «Прайм». [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=208617>. [Обновлено]. Доступ 21.03.2023.

⁷ Крупнейший железнодорожный пункт пропуска на границе с Китаем открыт в Забайкальске после реконструкции. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10223>. Доступ 20.02.2023.

⁸ РЖД прорабатывают создание новых пунктов пропуска на границе с Китаем // «Интерфакс». [Электронный ресурс]: <https://www.interfax.ru/russia/874657>. Доступ 21.02.2023.

обуславливается повышением репутации организации, идейными вдохновителями которой были, в первую очередь, Россия и Китай. Это ещё больше укрепляет экономическую и логистическую безопасность всего региона [10]. Сотрудничество в сфере транспорта не рассматривается как новое явление, совместная координация в сфере инфраструктуры установлена хартией ШОС, определяющей основы деятельности организации.

В рамках реализации инициативы «Один пояс – один путь» КНР активно участвует в различных инфраструктурных проектах не только в России, но и в Монголии и Узбекистане, с целью увеличения и стабилизации потока товаров из Китая в Европу. Данные проекты осуществляются для диверсификации рынков сбыта и снижения рисков, а также для развития транспортных коридоров и повышения эффективности торговли между Китаем и Европой. Некоторые китайские государственные корпорации, которые инвестируют в инфраструктурные проекты в Монголии и Узбекистане:

1. China Communications Construction Company (CCCC): одна из крупнейших китайских государственных компаний, специализирующаяся на строительстве инфраструктуры. CCCC активно участвует в реализации проектов по строительству железных дорог, дорог, мостов и портов в Монголии и Узбекистане, которые способствуют развитию транспортных связей и увеличению товаропотоков⁹.

2. China Railway Group Limited (CREC): лидер строительной сферы в Китае, специализирующейся на строительстве и эксплуатации железных дорог. Компания принимает участие в проектах строительства и модернизации железных дорог в Монголии и Узбекистане, включая развитие совместного инвестиционного проекта по строительству транспортного коридора «Китай–Монголия–Россия».

Финансово-денежные расчёты в национальных валютах между Россией и КНР

Новые геополитические реалии диктуют новые тренды в логистическом партнёрстве.

⁹ Топ крупнейших китайских строительных компаний в России. [Электронный ресурс]: https://raspp.ru/business_news/top-chinese-construction-companies-in-russia/. Доступ 20.02.2023.

Основой повестки является реализация политики финансово-денежных расчётов в национальных валютах [11–15].

Использование национальных валют при транспортно-логистических расчётах не только способствует диверсификации рисков, но и стимулирует альтернативные SWIFT платёжные системы. Взаиморасчёт между РФ и КНР в национальных валютах вышел на структурно новые уровни. Так, по данным министерства коммерции Китая, объём сделок внешней торговли КНР в юанях в 2022 г. вырос на 37 % и достиг \$1,17 трлн или около 17 % от общего объёма внешнеторговых сделок¹⁰. Российская Федеральная таможенная служба сообщает, что внешнеторговый оборот РФ в 2022 году составил \$850,5 млрд. Согласно данным Банка России от марта 2023 года, доля юаня в расчётах за экспорт в России выросла с 0,5 до 16 %, а доля рубля – с 12 до 34 %¹¹. С августа 2022 г. Россия занимает третье место по использованию юаня в трансграничной торговле¹². Таким образом, кратно укрепляется стратегическая безопасность за счёт снижения рисков, вызванных внешними факторами.

Расширение потенциала и оптимизация использования транспортной инфраструктуры

Структурно сложившийся поток контейнерных грузов из Китая является однонаправленным – в Россию. Для оптимизации грузоперевозок стоит обратить внимание на определённые проблемы. В первую очередь, на использование порожних поездов для отправки грузов из России. Пока провозная мощность сети ОАО «РЖД», на взгляд автора, недостаточна для отправки порожних поездов для последующей загрузки в тех регионах России, которые поставляют на экспорт в Китай руду и лес, что, в свою очередь, ограничивает возможности увеличения объёмов

¹⁰ Объём юаневых сделок в трансграничной торговле КНР в 2022 году вырос на 37 % // ИТАР-ТАСС. [Электронный ресурс]: <https://tass.ru/ekonomika/16783537>. Доступ 20.02.2023.

¹¹ Доля юаня в расчётах по экспорту из России в 2022 году подскочила с 0,5 % до 16 % // «Интерфакс». [Электронный ресурс]: <https://www.interfax.ru/business/890332>. Доступ 09.03.2023.

¹² Россия заняла третье место по использованию юаня в международных расчётах // РИА «Новости». [Электронный ресурс]: <https://ria.ru/20220819/yuan-1810649090.html>. Доступ 20.02.2023.



перевозок и усложняет эффективное использование железнодорожной инфраструктуры. То же относится и к загрузке контейнерных поездов.

Однако проблема обратной загрузки должна быть решена в рамках реализации проекта «Восточный полигон». Текущие проекты ОАО «РЖД» подразумевают завершение модернизации Транссибирской и Байкало-Амурской дорог. За счёт комплексной модернизации двух основных веток пропускная способность железнодорожной сети должна увеличиться более чем в два раза, с 75 до 180 млн тонн, транзитный контейнеропоток – в четыре раза, ощутимо сократится время доставки грузов по железным дорогам¹³.

Развитие восточного полигона идёт в рамках реализации национального проекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» (КПМИ)¹⁴. Первым достижением данного проекта было открытие Байкальского тоннеля Восточно-Сибирской железной дороги в июле 2021 года¹⁵. Второй этап по созданию Восточного полигона должен завершиться в 2024 году окончанием строительства нового двухпутного Керакского тоннеля на перегоне Ковали–Ульручи, что позволит увеличить скорость движения поездов и пропускную способность на забайкальском участке Транссиба. Для повышения пропускной способности важнейшего узла на Восточном полигоне в Хабаровском крае начато строительство третьего пути на перегоне Хабаровск I–Хабаровск II Дальневосточной железной дороги. Его протяжённость составит 9,9 километра¹⁶.

Развитие транспортной инфраструктуры в рамках данного проекта имеет следующие преимущества:

¹³ Стройка XXI века // «Гудок». [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1622859&archive=2022.12.22>. Доступ 20.02.2023.

¹⁴ Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2018 г. № 2101-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/MUNhgWFddP3UfF9RJASDW9VxP8zwcB4Y.pdf>. Доступ 20.02.2023.

¹⁵ Новый Байкальский тоннель открыт на БАМе. [Электронный ресурс]: <https://vszd.rzd.ru/1900/page/104069?id=265010>. Доступ 20.02.2023.

¹⁶ Восточная перспектива. Как модернизация БАМа и Транссиба изменит жизнь в России. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=202824>. Доступ 20.02.2023.

1. Увеличение потенциала перевозок: новые возможности для развития железнодорожных и автомобильных перевозок между Россией и Китаем, сокращение времени и расходов на доставку грузов и рост грузооборота и эффективности транспортировки.

2. Инициативы по строительству совместных центров по обработке контейнерных грузов будут способствовать упрощению логистических процессов, ускорению грузовых операций и улучшению координации между российскими и китайскими транспортными компаниями.

3. Содействие сотрудничеству между Россией и Китаем в экономической сфере, развитию торговли, инвестиций и туризма, укреплению связей между регионами двух стран.

4. Создание новых рабочих мест. Реализация национального проекта КПМИ является частью большого проекта «Достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство»¹⁷.

В числе других транспортных проектов, реализуемых совместно Россией и Китаем, выделяется проект высокоскоростной магистрали Москва–Казань, который был разработан с участием лидера в области высокоскоростных железнодорожных технологий – China Railway Engineering Corporation¹⁷. CREC активно участвует в разработке, проектировании и строительстве высокоскоростных магистралей по всему миру. Данный проект предусматривает строительство высокоскоростной железнодорожной линии между Москвой и Казанью, которая значительно сократит время путешествия и обеспечит более эффективное соединение между двумя городами.

В рамках инициативы по постройке высокоскоростных магистралей Москва–Казань и Москва–Санкт-Петербург (ВСМ «Москва–СПб») был проявлен интерес к реализации данного проекта совместно с китайскими компаниями и возможным привлечением финансирования¹⁸. Основная цель – создание

¹⁷ Китай и Россия создали рабочую группу по проекту ВСМ Москва–Казань. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=153444>. Доступ 20.02.2023.

¹⁸ РФ и Китай договорились сотрудничать в области высокоскоростного железнодорожного сообщения. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=122847>. Доступ 20.02.2023.

современной высокоскоростной железнодорожной связи между двумя крупными городами России, что значительно улучшит транспортную доступность.

Учитывая большой опыт строительства и эксплуатации ВСМ в КНР [16], сотрудничество с китайскими компаниями обеспечивает доступ к передовым технологиям в области высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Проекты высокоскоростных магистралей, в которых участвуют китайские компании, отражают стремление России и Китая к сотрудничеству в области развития транспортной инфраструктуры и улучшения связи между городами. Это позволяет создать современные и эффективные транспортные магистрали, способствующие эскалации уровня экономики и повышению мобильности людей.

ВЫВОДЫ

Перспективы развития российско-китайских отношений в сфере железнодорожной логистики являются обнадеживающими. Стоит обратить внимание на следующие тенденции и прогнозы:

1. Увеличение грузопотока. С каждым годом наблюдается рост перевозок контейнерных грузов между Россией и Китаем. Это связано с ростом экономического сотрудничества, увеличением торгового оборота и расширением взаимной инвестиционной активности. Увеличение контейнерных грузов свидетельствует о растущей потребности в надёжной и эффективной транспортной логистике между двумя странами.

Данный фактор требует создания дополнительных контейнерных терминалов и инфраструктуры для обеспечения эффективных логистических процессов.

Для обеспечения более эффективной транспортировки контейнерных грузов между Россией и Китаем осуществляется строительство и модернизация железнодорожных магистралей, терминалов и логистических центров. Примером является инициатива, выдвинутая Южно-Уральской железной дорогой.

2. Использование национальных валют. Россия и Китай проводят работу над укреплением использования национальных валют во внешней торговле, что снижает зависимость от доллара США и облегчает расчёты

между странами. Переход на юани способствует упрощению и ускорению финансовых операций, в том числе – в сфере контейнерных перевозок.

Один из векторов – развитие цифровых валют, которые предоставляют новые возможности для безопасных и эффективных финансовых операций в сфере международной торговли и перевозок. Это может иметь положительное влияние на контейнерные перевозки, обеспечивая более удобные и прозрачные финансовые механизмы.

В целом, в будущем ожидается развитие перевозок контейнерных грузов между Россией и Китаем ввиду роста торгового оборота, развития инфраструктуры, укрепления использования национальных и возможному внедрению цифровых валют. Данные факторы создают благоприятную среду для дальнейшего укрепления сотрудничества в сфере железнодорожных контейнерных перевозок.

3. Увеличение пропускной способности. Страны понимают важность повышения пропускной способности железнодорожных путей для обеспечения эффективного движения грузов. Ожидается, что обе страны будут инвестировать в модернизацию и развитие своих железнодорожных сетей с целью увеличения пропускной способности и облегчения перевозок.

4. Рост взаимодействия в сфере железнодорожной инфраструктуры. Партнёры будут продолжать активное взаимодействие и сотрудничество по согласованию планов и стратегий развития железнодорожной логистики, что позволит обеим странам оптимизировать потоки грузов, координировать инфраструктурные проекты и достичь согласования в вопросах таможенных процедур и регулирования перевозок.

5. Совместная работа по высокоскоростным магистралям. Возможное направление совместной работы между Россией и Китаем – это реализация проектов ВСМ. Китайские компании, например, CREC, могут принять активное участие в проектировании, строительстве и финансировании таких проектов, что послужит новым этапом сотрудничества и поспособствует быстрому и эффективному развитию железнодорожной логистики между двумя странами.

Развитие взаимодействия двух стран в сфере железнодорожной логистики можно отнести к благоприятной области для даль-



нейшего сотрудничества, поскольку партнёры прилагают усилия по увеличению грузопотока, повышению пропускной способности и совершенствованию инфраструктуры. Другой немаловажный фактор: взаимные интересы двух стран в области энергетического сектора – где Россия в качестве поставщика, а Китай – в роли важного потребителя сырья, могут быть полезны друг другу для развития торгово-экономического сотрудничества. Подобный аспект крайне важен ввиду глобального изменения политической архитектуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhixin, Zhang. The Belt and Road Initiative: China's New Geopolitical Strategy? *China Quarterly of International Strategic Studies*, 2018, Vol. 4, Iss. 3, pp. 327–343. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2377740018500240>.
2. Haoyuan, Sun. The Influence of the Belt and Road Initiative on the Technological Upgrade of Enterprises in Countries and Regions along the Belt and Road: Study based on Difference-in-difference Model. *BCP Business & Management*, 3rd International Symposium on Frontiers of Economics and Management Science (FEMS 2022), 2022, Vol. 19, pp. 364–365. ISBN 978-1-62437-375-6. [Электронный ресурс]: <https://bcpublication.org/index.php/BM/article/view/826/834>. Доступ 20.02.2023.
3. Shuangning, You. Does the Belt and Road Initiative promote industrial upgrading and rationalisation and adjustment along the route? *BCP Business & Management*, 3rd International Conference on the Frontiers of Innovative Economics and Management (FIEM 2022), 2022, Vol. 29, pp. 522–531. ISBN 978-1-62437-582-8. [Электронный ресурс]: <https://bcpublication.org/index.php/BM/article/view/2318/2298>. Доступ 20.02.2023.
4. Ли На. Инициатива «Один пояс – один путь» как новая модель сотрудничества КНР с Россией и странами Центральной Азии // *Вестник РУДН. – Серия «Всеобщая история»*. – 2018. – № 4. – С. 382–392. DOI: 10.22363/2312-8127-2018-10-4-382-392.
5. Коломиец М. О., Кукушкина В. В. Развитие российско-китайских отношений на современном этапе глобализации // *А-фактор: научные исследования и разработки (гуманитарные науки)*. – 2019. – № 3. [Электронный ресурс]: <http://www.a-factor.ru/archive/item/116-razvitiie/>. Доступ 20.02.2023.
6. Древецкая С. С. Развитие транспортно-логистической системы между Россией и Китаем // *Проблемы социально-экономического развития Сибири*. – 2021. – № 4 (46). – С. 38–42. DOI: 10.18324/2224-1833-2021-4-38-42. EDN UIJXPS.
7. Лутовинов М. Е., Сафина С. С. Российско-китайское сотрудничество в сфере развития железнодорожного транспорта // *Гуманитарные науки и вызовы нашего времени: Сборник научных статей по итогам*
- IV Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, 10–11 марта 2022 года. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. – С. 165–167. EDN HGJWEN.
8. Ларин О. Н., Куприяновский В. П. Механизмы инвестиционной поддержки инфраструктурных проектов китайской инициативы «Один пояс – один путь» и технологии цифровой железной дороги // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2017. – Т. 13. – № 3. – С. 167–175. DOI: 10.25559/SITITO.2017.3.545. EDN ZWJSFZ.
9. Транспортные коридоры «Шёлкового пути»: потенциал роста грузопотоков через ЕАЭС // Доклад № 49 д.э.н. Е. Ю. Винокуров (ЦИИ ЕАБР), В. Г. Лобырев, А. А. Тихомиров (АО «Институт экономики и развития транспорта»), к.э.н. Т. В. Цукарев (ЦИИ ЕАБР). – СПб.: ЦИИ ЕАБР, 2018. – 74 с. [Электронный ресурс]: https://eabr.org/upload/iblock/c2a/EDB-Centre_2018_Report-49_Transport-Corridors_RUS.pdf. Доступ 20.02.2023.
10. Гордиенко Д. В. Перспективы изменения уровня экономической безопасности стран – членов ШОС при реализации стратегии Экономического пояса «Шёлкового пути» // *Азиатско-Тихоокеанский регион: проблемы глобальных и региональных измерений безопасности*. – М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Дальнего Востока Российской академии наук, 2018. – С. 195–266. – EDN YMQADR. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36364756_15164620.pdf. Доступ 20.02.2023.
11. Сун Цзясюе. Российско-китайское финансовое сотрудничество: возможность крупномасштабного углубления // *Вестник евразийской науки*. – 2021. – Т. 13. – № 5. DOI: 10.15862/38ECVN521.
12. Жариков М. В. Организация внешнеэкономических расчётов между Россией и Китаем в национальных валютах // *Вестник Российской таможенной академии*. – 2015. – № 2. – С. 19–27. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_23572093_15660378.pdf. Доступ 20.02.2023.
13. Газизулина И. А., Найбицзян А. Роль юаня в обеспечении расчётов приграничной торговли Китая // *Научный альманах*. – 2016. – № 11–1 (25). – С. 71–73. DOI: 10.17117/na.2016.11.01.071.
14. Чжоу Яньлин, Яо Яо. Исследование путей углубления финансового сотрудничества между Китаем и Россией в контексте проекта «Один пояс – один путь» // *Modern Economy Success*. – 2021. – № 2. – С. 57–62. EDN XBRAlI.
15. Попов Н. В. Развитие финансовых механизмов двухстороннего экономического сотрудничества между Россией и Китаем на Дальнем Востоке // *Экономика и предпринимательство*. – 2021. – № 10 (135). – С. 170–173. DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.029. EDN ARNBEN.
16. Lawrence, M., Bullock R., Liu, Ziming. *China's High-Speed Rail Development*, 2019, 96 p. ISBN 978-1-4648-1425-9. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/333733120_China's_High-Speed_Rail_Development. Доступ 20.02.2023. ●

Информация об авторе:

Чжан Тэн – кандидат психологических наук, управляющий инженер, специалист по международным отношениям ОАО Группа компаний «Первый китайский железнодорожный проектно-изыскательский институт» (China Railway First Survey and Design Institute Group CO., Ltd. (CRCC)), провинция Шэньси, Суань, Китайская Народная Республика, tengteng@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 20.02.2023, одобрена после рецензирования 13.03.2023, актуализирована 21.03.2023, принята к публикации 21.03.2023.



Оценка аспектов устойчивого развития в деятельности транспортных компаний



Филипп СУХОВ



Вера ЗВЕРКОВА

**Филипп Игоревич Сухов¹,
Вера Михайловна Зверкова²**

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

✉ ² vmzverkova@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Управление устойчивым развитием компании оказывает влияние не только на внутренние процессы, но и на взаимодействие с поставщиками и совершенствование системы ответственного управления цепочкой поставок. В этой связи перед транспортными компаниями как поставщиками логистических услуг возникает необходимость уделять внимание соответствию критериям устойчивого развития, чтобы сотрудничество с ними положительно влияло на репутацию и позиции в рейтингах устойчивого развития клиентов. В данной работе рассмотрены критерии оценки зрелости практик, внедряемых поставщиком логистических

услуг для крупных производственных компаний в отношении их экологического и социального воздействия. Актуальность работы заключается в необходимости сформировать инструменты для оценки уровня устойчивого развития компаний транспортной отрасли и выработки рекомендаций для общепромышленных стандартов.

Результаты исследования представляют интерес для руководителей и специалистов логистических компаний и для работников транспортных вузов в виду особой значимости качественного образования для достижения целей устойчивого развития.

Ключевые слова: транспортная отрасль, транспортные компании, логистика, устойчивое развитие, ESG-факторы, цели устойчивого развития, экологические аспекты, управление.

Для цитирования: Сухов Ф. И., Зверкова В. М. Оценка аспектов устойчивого развития в деятельности транспортных компаний // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-6>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Обзор литературы

Основополагающим определением термина «устойчивое развитие» является «развитие, отвечающее потребностям настоящего времени без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности»¹. Концепция устойчивого развития предусматривает три взаимосвязанных между собой вектора развития: экологический, социальный и экономический².

Вопросы влияния организаций на окружающую среду, социальную сферу и экономику (ESG-факторы) становятся неотъемлемой частью государственной политики и стандартов ведения бизнеса. Термин «ESG-факторы» (англ. Environmental, Social and Governance) появился в 2004 году в докладе Организации объединённых наций «Неравнодушный побеждает» (англ. Who Cares Wins). Каждое из направлений не может рассматриваться в отрыве от двух других, таким образом, модель устойчивого развития является трёхмерной и предполагает, что мировая система должна одновременно развиваться во всех трёх направлениях.

В научных работах рассматриваются различные направления устойчивого развития: влияние инноваций [1], переход к экономике замкнутого цикла [2], ESG-трансформации компаний различных отраслей экономики [3–5]. Устойчивое развитие транспортных компаний также находится в фокусе внимания исследователей [6], при этом данная тема может быть рассмотрена с учётом национальной специфики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По итогам 2022 года тема устойчивого развития остаётся в фокусе российских компаний. Как отмечают эксперты, на сегодняшний момент происходит изменение в приоритетах устойчивого развития: усиливается роль социальных аспектов с сохранением экологии в основной повестке³.

¹ The 17 goals. Sustainable Development. [Электронный ресурс]: <https://sdgs.un.org/goals>. Доступ 06.01.2023.

² GRI 101: Foundation 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.globalreporting.org/media/wwwkhyd/gri-standards-consolidated-2020.pdf?g=419257b1-08c5-497a-a7ad-fc7b8e7445d3#page=4&zoom=100,0,0>. Доступ 06.01.2023.

³ «Возможен временный откат»: как изменился «баланс букв» в ESG // РБК. 2022. 24 окт. [Электронный ресурс]: https://www.rbc.ru/business/24/10/2022/6352e2649a7947086a3bca20?utm_medium=share&utm_source=app_ios_reader&utm_campaign. Доступ 11.12.2022.

Основными ориентирами для российских компаний в вопросах устойчивого развития являются – международные стандарты, государственное регулирование и экспертная оценка консалтинговых компаний. Рассмотрим более подробно каждый из источников.

Международные стандарты

Ряд крупных российских компаний уже успешно учитывает цели устойчивого развития в своих стратегиях. Понимание важности проблематики устойчивого развития российским бизнесом подчеркнуло исследование PwC 2019 года, согласно результатам которого 66 % опрошенных членов Советов директоров российских компаний считают, что общая стратегия компании должна быть приведена в соответствие с целями в области устойчивого развития⁴. Национальная сеть Глобального договора ООН – международной инициативы ООН для бизнеса – объединяет более 50 российских компаний и институтов, работающих почти во всех регионах страны, среди них такие крупные глобальные игроки, как Роснефть, Лукойл, ОК «РУСАЛ», Северсталь, Норникель, Полиметалл, РусГидро, АФК «Система», ОАО «РЖД» и другие⁵. Например, ОАО «РЖД» вносит вклад в достижение 13 Целей устойчивого развития ООН из 17 (рис. 1).

Для достижения целей устойчивого развития важно также ориентироваться на критерии оценки. Их формируют рейтинговые агентства на основании стандартов раскрытия информации. Самые значимые рейтинги устойчивого развития проводятся агентствами Sustainalytics, MSCI, ISS и др. В своих оценках они опираются на международные стандарты отчётности, например, глобальную инициативу отчётности (англ. Global Reporting Initiative, GRI). Ключевой документ GRI – «Руководство по отчётности в области устойчивого развития» построено таким образом, что оно гармонично сочетается с другими руководствами в области устойчивого развития – «Руководящими принципами ОЭСР для транснациональных

⁴ Устойчивое развитие в фокусе внимания советов директоров. Опрос членов советов директоров российских компаний, 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://www.b-soc.ru/wp-content/uploads/2019/11/polnyj-tekst-issledovaniya.pdf>. Доступ 06.01.2023.

⁵ Сеть Глобального договора в России. [Электронный ресурс]: <https://media.rssp.ru/document/1/5/c/5c0d3154c8f293ed0931583268b1ad5a.pdf>. Доступ 06.01.2023.



Рис. 1. Вклад ОАО «РЖД» в достижение Целей устойчивого развития ООН на основании годового отчёта ОАО «РЖД» за 2021 год. Годовой отчёт ОАО «РЖД» за 2021 год. [Электронный ресурс]: https://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_spreads_rzd_2021.pdf. Доступ 06.01.2023.

Таблица 1

График разработки проектов отраслевых стандартов GRI*

Название отраслевого стандарта	Статус	Начало разработки	Дата выхода
Стандарт для нефти и газа	Завершено	2 квартал 2019 года	2 полугодие 2021 года
Стандарт для угля	Завершено	2 квартал 2019 года	1 полугодие 2022 года
Стандарт для сельского хозяйства, аквакультуры и рыболовства	Завершено	4 квартал 2019 года	1 полугодие 2022 года
Стандарт для горнодобывающей промышленности	В процессе	1 квартал 2022 года	3 квартал 2023 года (ожидаемый)
Стандарт для продуктов питания и напитков	В процессе	Будет начато	Подлежит определению
Стандарт для текстиля и одежды	В процессе	1 квартал 2023 года (ожидается)	1 квартал 2025 года (ожидается)
Стандарт для финансовых услуг, для банковского дела, страхования и рынков капитала	Будет начат	2 квартал 2023 года (ожидается)	3 квартал 2025 года (ожидается)

*GRI – Schedule of Standards projects. [Электронный ресурс]: <https://www.globalreporting.org/standards/standards-development/schedule-of-standards-projects/>. Доступ 06.01.2023.

предприятий», ISO 26000 и Глобальным договором ООН.

Применительно к транспортной отрасли международные стандарты могут служить ориентирами и задавать векторы, так как разработка более точных отраслевых критериев для транспорта не входит в ближайшие планы глобальной инициативы отчётности. Их внимание в первую очередь сосредоточено на наиболее углеродоёмких отраслях. Так, в 2021 году был разработан отраслевой стандарт для нефте- и газодобывающих компаний. Следующие стандарты были разработаны для угледобывающей отрасли, сельского хозяйства и рыболовства. В настоящее время идёт работа над отраслевым стандартом для горнодобывающих компаний (табл. 1).

Что касается общих стандартов, то можно выделить экологические и социальные аспекты применительно к логистической компании.

К экологическим относятся аспекты:

- источники энергии, потребляемой организацией;

- потребление воды;
- биоразнообразии;
- выбросы парниковых газов;
- сбросы и отходы;
- соответствие законодательству в сфере охраны окружающей среды.

При этом для логистических компаний неприменимы такие аспекты, как материалы и транспорт.

Оценку социальных аспектов можно разделить на три основные группы индикаторов:

- охрана труда и безопасность;
- управление персоналом, реализация программ многообразия трудовых ресурсов и инклюзивности;
- корпоративная социальная ответственность и соблюдение прав человека.

Государственное регулирование

На сегодняшний день в России уже существуют свои стандарты и методики раскрытия информации, хотя на государственном уровне пока не приняты какие-либо документы, обя-



зывающие российские компании, публиковать нефинансовую отчётность в области устойчивого развития.

В 2021 году Центральный банк Российской Федерации опубликовал письмо с подробными рекомендациями по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации. В планах Минэкономразвития подготовить законопроект о публикации нефинансовой отчетности российскими компаниями, а до его выхода основным ориентиром для российских компаний являются рекомендации Центрального банка.

В рекомендациях Центрального банка России по учёту советом директоров публичного акционерного общества ESG-факторов, а также вопросов устойчивого развития говорится, что «учёт в деятельности Общества ESG-факторов, участие Общества в достижении целей устойчивого развития – комплексная задача, требующая системного, последовательного и скоординированного подхода к её решению. Решение такой задачи не ограничивается выделением (назначением) отдельного структурного подразделения (должностного лица) в организации, ответственного за вопросы, связанные с ESG-факторами и устойчивым развитием, а требует активного участия со стороны всех органов управления Обществ в рамках их компетенции»⁶. На практике это означает, что помимо выделенной структуры по координации деятельности по устойчивому развитию в управление устойчивым развитием включены подразделения, занимающиеся экологией и охраной окружающей среды, социально-кадровый блок и подразделения, отвечающие за корпоративное управление, организацию противодействия коррупции и управление рисками.

В рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации сформулированы принципы раскрытия⁷. Принципы касаются содержания и контекста отчёта, а также описывают требования к обеспечению качества.

Для соблюдения принципа «Ориентация раскрытия нефинансовой информации на будущее и стратегические цели» рекоменду-

ется приводить информацию о миссии, бизнес-модели, стратегии и целях. Для того чтобы правильно оценить вклад компании в устойчивое развитие, надо понимать, в каком контексте компания рассматривает проблемы устойчивого развития, какие цели ставит для себя на местном, региональном, национальном и мировом уровнях. Также рекомендуется раскрывать информацию о рисках и факторах, которые могут повлиять на будущую деятельность.

В соответствии с принципом «Ориентация при раскрытии нефинансовой информации на заинтересованных лиц» компания должна выявить стороны, заинтересованные в её деятельности, и пояснить в отчёте, каким образом их разумные ожидания и интересы были учтены при подготовке отчёта. Это клиенты, акционеры, государство, поставщики, все те, кто имеют отношение к деятельности компании. Но также это стороны, которые не имеют отношения к компании, но её деятельность значительно влияет на их жизнь (уязвимые слои общества, гражданские активисты).

Принцип «Объективное, сбалансированное и простое для восприятия представление информации» определяет, что должны быть показаны как положительные, так и отрицательные аспекты деятельности компании, это позволит сделать обоснованную оценку результатов (сравнить положительное и отрицательное влияние). Нельзя представлять отчёт об устойчивом развитии как сборник достижений за год. Информация, содержащаяся в отчёте, должна быть представлена в понятной и доступной форме для заинтересованных сторон.

В отчёте должен быть «необходимый и достаточный объём раскрываемой информации». Компания должна включать в отчёт только те данные, которые показывают существенное воздействие компании на экологию, социальную среду, экономику. Информация, представленная в отчёте, должна быть достаточно точной и подробной для того, чтобы заинтересованные стороны могли оценить результаты деятельности компании.

И, наконец, в соответствии с принципом «Последовательность и сопоставимость раскрываемой информации» отчётность публикуется на основании регулярного графика точно в срок, так чтобы заинтересованные стороны могли ориентироваться на сроки

⁶ Информационное письмо Банка России от 16.12.2021 г. № ИН-06-28/96. [Электронный ресурс]: <http://www.cbr.ru/crosscut/lawacts/file/5757>. Доступ 06.01.2023.

⁷ Информационное письмо Банка России от 12.07.2021 г. № ИН-06-28/49. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/StaticHtml/File/117620/20210712_in-06-28_49.pdf. Доступ 06.01.2023.

и своевременно принимать решения на основании данных отчёта. Для того чтобы сравнить показатели компании в разные периоды отчётности (посмотреть динамику изменений), а также сравнить с показателями других компаний, представление информации в отчёте должно быть единообразно.

Экспертная оценка консалтинговых компаний

В сфере консалтинговых компаний, занимающихся оценкой и консультированием по вопросам устойчивого развития можно выделить две группы. В первую входят крупные международные компании или их отделившиеся в 2022 году преемники в Российской Федерации. Вторую группу представляют нишевые региональные компании. И если для первых компаний характерно применение типовых международных стандартов с необходимой корректировкой под требования национального законодательства, то вторая группа представляет больший интерес за счёт авторских разработок и методик. Рассмотрим на примере метода диагностики устойчивого развития от консалтинговой компании TSQ Consulting⁸. В рамках методике предлагается оценка 25 аспектов по семи областям:

1. Цели и ценности.
2. Управление и лидерство.
3. Люди и культура.
4. Производственные процессы.
5. Опыт работы с клиентами и маркетинг.
6. Бизнес-экосистема (прозрачность и открытость взаимодействия с внешним контуром организации).
7. Мониторинг и отчётность.

Оценка проводится отдельно по каждой из семи областей воздействия, для того чтобы обратить внимание на сферы, которые ещё недостаточно проработаны, чтобы использовать их как возможности для усиления устойчивости организации.

По итогам диагностика позволяет оценить уровень устойчивости компании. Низкая устойчивость означает, что устойчивое развитие в компании только зарождается. На этом этапе важно четко определить цель, сформировать стратегию и затем составить «дорожную карту». Средняя устой-

чивость показывает, что компания на верном пути к реализации подходов устойчивого развития во всех бизнес-процессах организации. На этой стадии очень важно работать в двух направлениях – с процессами и с людьми, выстраивая особую корпоративную культуру. Важно создать такую систему, в которой сотрудники не смогут действовать иначе, кроме как экологически и социально-ответственно. Высокая устойчивость означает, что компания является лидером устойчивого развития. На этой стадии компания может быть образцом для подражания и влиять на распространение практик устойчивого развития у партнёров, контрагентов и поставщиков и в дочерних обществах.

Особое внимание стоит обратить на тот факт, что в предложенной методике отдельный акцент сделан на персонал компании. Данный подход будет особенно актуален для транспортных компаний, являющихся крупнейшими работодателями, так как успешная реализация целей устойчивого развития будет зависеть от вовлечённости персонала в этот процесс.

Рекомендации по результатам исследования

В целях устойчивого развития не только отдельных компаний, но и всей транспортной отрасли могут быть предложены следующие рекомендации.

Во-первых, для повышения прозрачности в вопросе выбросов парниковых газов для клиентов необходима выработка единого стандарта для расчёта углеродного следа от перевозок для различных видов транспорта. Данная информация может быть представлена в виде экологического калькулятора на сайте логистических компаний, и при вводе начальной и конечной точки маршрута позволит рассчитать выбросы от перевозки.

Во-вторых, необходима выработка единого стандарта системы менеджмента устойчивого развития. Для российских компаний в качестве примера могут быть взяты международные стандарты, но с обязательной адаптацией. Единый стандарт позволит систематизировать и упорядочить все процессы устойчивого развития компаний транспортной отрасли, а не только подготовки отчётности.

⁸ Как оценить устойчивость компании? TSQ Sustainability. [Электронный ресурс]: https://tsqconsulting.ru/sustainability/level_sustainability_otsenka. Доступ 06.01.2023.



В-третьих, для обеспечения устойчивого развития компаний необходимо применение современных технологий для достижения целей устойчивого развития. В качестве примера можно привести технологии с использованием альтернативных источников энергии [7], цифровых двойников [8], опережающих методов обучения [9] и т.п.

В-четвёртых, можно рекомендовать транспортным компаниям при раскрытии нефинансовой отчётности проводить опрос заинтересованных сторон, в том числе общественных организаций и населения, на тему актуальных тем для раскрытия. Такой подход позволит выстраивать системную работу по социальным аспектам устойчивого развития.

Выводы

Таким образом, для оценки устойчивого развития логистической компании необходимо выполнение нескольких ключевых условий. Во-первых, закрепление целей и приоритетов компании на устойчивое развитие в стратегических документах (например, политики и концепции устойчивого развития). Во-вторых, должно проходить внедрение инструментов по достижению целей устойчивого развития в соответствии с выбранными приоритетами. В-третьих, должна формироваться ежегодная публичная отчётность с достаточным объёмом раскрываемой информации, отвечающей требованиям существенности, сбалансированности, точности, последовательности и сопоставимости.

На основании этого можно выделить три уровня устойчивости компании: низкий, средний и высокий.

Так же необходимо проведение исследований в области разработки единых требований к оценке устойчивости компаний в транспортной отрасли, т.к. эта сфера деятельности имеет свои технические, экологические, управленческие и социальные особенности. Необходима выработка значимых для ранжирования состояния устойчивого развития компании транспортной отрасли критериев, с последующей их верификацией, включая экспертные оценки.

Информация об авторах:

Сухов Филипп Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и инженерной экологии Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, philipp.sukhov@mail.ru.

Зверкова Вера Михайловна – магистрант кафедры химии и инженерной экологии Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, vtzverkova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 23.01.2023, одобрена после рецензирования 17.02.2023, принята к публикации 27.02.2023.

• Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 49–54

Сухов Ф. И., Зверкова В. М. Оценка аспектов устойчивого развития в деятельности транспортных компаний

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Silvestre, B. S., Țircă, D.-M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 2019, pp. 325–332. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/328290726_Innovations_for_sustainable_development_Moving_toward_a_sustainable_future. Доступ 09.02.2023.

2. Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., Soares, S. R. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, April 2021, pp. 213–227. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.005.

3. Едемская В. А., Давыдова Е. Д., Сухов Ф. И. Развитие ESG-трансформации ритейла в России // *Вестник Университета*. – 2022. – № 9. – С. 72–80. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49607528>. Доступ 09.02.2023.

4. Тихонов В. А., Степанова Н. П., Шалина Д. С. ESG-трансформация банков как драйвер развития ESG-практик в условиях санкционного давления // *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 2022. – С. 556–562. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50148801>. Доступ 09.02.2023.

5. Захарин Ю. С., Мельникова А. К. Российский нефтегазовый сектор: эволюция ESG-революции // *Новые императивы устойчивого развития социально-экономической системы: Сборник лучших докладов по материалам XI Национальной научно-практической конференции института магистратуры с международным участием*. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2022. – С. 75–78. [Электронный ресурс]: https://www.aton.ru/research/reports/rossiyskiy_neftegazovyy_sektor_evolyutsiya_esg_revolyutsii/. Доступ 09.02.2023.

6. Grabara, J., Dabylova, M., Alibekova, G. Impact of legal standards on logistics management in the context of sustainable development. *Acta Logistica International Scientific Journal about Logistics*, 2020, pp. 31–37. [Электронный ресурс]: https://actalogistica.eu/issues/2020/I_2020_05_Grabara_Dabylova_Alibekova.pdf. Доступ 09.02.2023.

7. Вакулenco С. П., Пудовиков О. Е., Калинин К. А., Матвеева А. Г. Перспективы применения водородной тяги на железных дорогах Российской Федерации // *Железнодорожный транспорт*. – 2022. – № 5. – С. 38–41. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48470705> [ограниченный доступ].

8. Климов А. А., Куприяновский В. П., Воропаев Ю. Н., Покусаев О. Н., Добрынин А. П., Понкин И. В., Лысогорский А. А. Цифровые двойники на базе развития технологий BIM, связанные донтологиями, 5G, IOT и смешанной реальностью для использования в инфраструктурных проектах и IFRABIM // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2020. – Т. 8. – № 3. – С. 55–74. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42543776>. Доступ 09.02.2023.

9. Вакулenco С. П., Егоров П. А., Клычева Н. А., Максимова Е. С. Ориентируясь на современные вызовы и тенденции. О подготовке кадров в области логистики, международных перевозок и цифровизации перевозочного процесса // *Железнодорожный транспорт*. – 2022. – № 6. – С. 50–53. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48470705> [ограниченный доступ]. ●



Структура методов управления организацией в цепи создания ценности



Алексей Петрович Тяпухин

*Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук,
Оренбург, Россия.*

✉ artyapuhin@mail.ru

Алексей ТЯПУХИН

АННОТАЦИЯ

Целью данной статьи является создание теоретических и методических предпосылок обоснования методов управления транспортными организациями в целях создания ценностей и повышения их эффективности за счёт предотвращения возможных противоречий и конфликтов при выполнении заказа конечного потребителя услуг и/или продукции.

Гипотезой исследования является предположение, что можно определить конкретное количество и качество методов управления транспортными организациями в целях создания ценности и установить взаимосвязи между ними, что позволит сформировать интегрированную систему управления цепями и различными видами транспорта.

В качестве методов исследования выбраны методы классификации, синтеза, анализа, индукции и дедукции, а в качестве инструмента использованы бинарные матрицы,

сформированные на основе классификационных признаков объектов и их дихотомий.

В исследовании получены следующие результаты: аргументировано содержание ресурсного подхода к обоснованию методов управления транспортной организацией; разработана классификация административных, экономических, организационных и социально-психологических методов управления данной организацией; выявлены взаимосвязи методов, принципов и подходов к управлению объектами социально-экономических систем.

Внедрение полученных результатов позволит снизить вероятность появления противоречий в цепях создания ценности за счёт согласования содержания систем управления её звеньями, создать предпосылки для снижения упущенной выгоды цепей данного типа, сокращения времени и затрат на подготовку и выполнение управленческих решений, своевременного реагирования на уникальные требования конечных потребителей услуг и/или товаров.

Ключевые слова: транспортная организация, система, цель, задача, принцип, метод, подход, функция.

Благодарности: статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России для ФГБУН Института экономики УрО РАН на 2023 год.

Для цитирования: Тяпухин А. П. Структура методов управления организацией в цепи создания ценности // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 55–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-7>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Транспортные организации являются ключевыми звеньями цепей поставок, обеспечивающими согласование спроса и предложения на рынках различного типа. Эффективное управление транспортной организацией, ориентированной на создание ценностей для конечных потребителей услуг и/или продукции, является её важнейшим конкурентным преимуществом. Поэтому особое внимание следует уделять проектированию, формированию и оптимизации системы управления данной организацией, под которой, в частности, понимается «набор взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, который устанавливает политику и цели и который позволяет достигать этих целей безопасным, действенным и результативным образом» [1].

Системы управления традиционно включают субъект (кто управляет?) и объект (кем или чем управляют?). В первом случае речь идет о совокупности иерархически упорядоченных лиц, принимающих и внедряющих управленческие решения, а во втором случае, о лицах, задействованных в реализации данных решений, состоящих в определенных отношениях и перерабатывающих ресурсы в соответствии с регламентом бизнес-процессов. Если признать, что наиболее ценным объектом управления являются люди [2], то в составе системы управления организацией следует выделять «систему человеческих ресурсов» [3], компонентом которой является «практика управления человеческими ресурсами (англ. – HRMpr)» или «процесс привлечения, мотивации и удержания сотрудников для обеспечения выживания организации» [4]. Между терминами «система управления» и «система человеческих ресурсов» существуют некоторые различия, поэтому в дальнейшем для исключения двойного толкования того или иного термина, связанного с управлением не только человеческими ресурсами, но и организацией в целом, будет использоваться термин «система управления».

Взаимодействие субъекта и объекта управления предполагает формирование и периодическое обновление компонентов системы управления транспортной организацией, состав и взаимосвязи которых отличаются многообразием. В их состав, кроме прочего, включаются методы управления [5] или «способы воздействия на коллективы или отдель-

ных работников с целью осуществления координации их деятельности в процессе производства»¹. Между терминами «методы управления» и «практика управления человеческими ресурсами» также имеются некоторые различия. Поэтому в дальнейшем в качестве основного термина будет использоваться термин «методы управления».

Многие исследователи подчёркивают важность правильного применения методов управления организацией и подтверждают их высокую эффективность, например авторы [6–14]. Однако не все специалисты уверены, что хорошее управление персоналом влияет на производительность организации, например авторы [15–17], ссылаясь, в том числе, на недостаточность эмпирических данных по данной проблеме [4].

Выяснение причин недостаточной эффективности методов управления является темой отдельного исследования. Тем не менее, уже сейчас можно выдвинуть гипотезу о нечёткой структуризации систем управления транспортной организацией, провоцирующей неоднозначность и необоснованное многообразие не только их компонентов, но и взаимосвязей между ними. Изложенная выше проблема серьёзно осложняется, если речь заходит об управлении цепями создания ценностей, предполагающем проектирование и использование многочисленных систем управления организациями, а также их интеграцию для лучшего выполнения требований конечных потребителей услуг и/или продукции.

В данной статье предлагается системный подход к решению данной проблемы, позволяющий не только интегрировать методы, принципы и подходы к управлению транспортными организациями и цепями создания ценностей, но и создать предпосылки для совершенствования теории и методологии управления человеческими ресурсами внутри и вне организации.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Существуют различные точки зрения на состав и структуру системы управления организацией. По мнению А. С. Гуттермана, к компонентам системы данного типа относятся «политика, планирование, внедрение и операции, оценка эффективности, совер-

¹ Управление персоналом организации: Учебник / Под ред. А. Я. Кибанова. – М.: Инфра-М, 1997. – 512 с.

Основные компоненты практики управления человеческими ресурсами [составлено автором]

Авторы	Компоненты практики управления человеческими ресурсами
Дж. Перселл [20]	«развитие карьеры и возможности для продвижения по службе; возможности обучения; влияние на работу и проблемы; вовлечённость и коммуникация; процессы управления эффективностью и оценки; баланс между работой и личной жизнью»
Д. Е. Гест [21]	«стратегия управления персоналом, набор политик управления персоналом, набор результатов управления персоналом, поведенческие результаты, ряд результатов работы и финансовые результаты»
П. Босели, Г. Дитц, К. Бун [22]	«обучение и развитие, оплата труда и вознаграждения, а также управление производительностью»
Г. Десслер [23]	«определение потребностей в человеческих ресурсах, отбор, набор, обучение, вознаграждение, оценка, а также забота о трудовых отношениях, безопасности и гигиене труда, вопросах справедливости»
Н. Дж. Фосс, К. Лаурсен, Т. Педерсен [24]	«делегирование ответственности, такое как командное производство; стимулы к знаниям, такие как распределение прибыли, индивидуальные стимулы и стимулы для обмена знаниями; внутренняя коммуникация, поощряемая, например, практикой, связанной с обменом знаниями или ротацией рабочих мест; обучение сотрудников, как внутреннее, так и внешнее; набор и удержание, такие как внутренняя политика продвижения персонала»
К. Лаурсен, Н. Дж. Фосс [25]	«Практика, включающая: (а) делегирование ответственности; (b) стимулирование знаний; (c) обмен знаниями; (d) обучение сотрудников; (e) набор и удержание»
К. Алуса, А. Кариук [26]	«гарантии занятости, выборочный наём, самоуправляемые команды, компенсация в зависимости от результатов работы, обширное обучение, сокращение различий в статусе и обмен информацией»
Р. Сепакханд, Р. Б. Ходашахри [27]	«наём и отбор, обучение и карьерный рост, служебная аттестация, компенсации и льготы»

шенствование и управленческий обзор» [18]. Если провести предварительный анализ перечня данных компонентов, то можно отметить следующее:

1) перечень включает следующие гетерогенные объекты: три функции управления – планирование, внедрение и управленческий обзор; составляющие бизнес-процесса – операции; инструмент управления – политику; задачу управления – внедрение, а также констатацию полученных результатов – оценку эффективности;

2) данный перечень может быть уточнён и дополнен. Например, к функциям управления можно добавить мотивацию, контроль, интеграцию, регулирование, к инструментам управления – регламенты и систему мотивации, к задачам управления – устойчивое развитие и др.;

3) компоненты системы управления могут образовывать логические последовательности и иметь чёткие взаимосвязи. Например, сначала используется планирование, потом политика, далее внедрение и оценка эффективности;

4) система управления включает компоненты разного уровня. Например, функции,

как и бизнес-процессы, состоят из операций, а политика, в свою очередь, является частью стратегии организации.

В представленном выше перечне компонентов системы управления, как нетрудно заметить, не используется термин «человеческие ресурсы». Поэтому следует выявить компоненты практики управления человеческими ресурсами, которая, по мнению М. Армстронга, сводится к «неформальным подходам, используемым в управлении людьми» [3]. Кроме того, следует различать практику работы с человеческими ресурсами, которая включает «процесс создания пула подходящих кандидатов, набора отдельных лиц, отбора и обучения» [19] и практику управления человеческими ресурсами.

Варианты основных компонентов практики управления человеческими ресурсами приведены в табл. 1.

Таким образом:

1) существует значительное разнообразие точек зрения на содержание компонентов практики управления человеческими ресурсами, при этом авторами, как правило, не приведены достаточные аргументы для вы-



деления именно этих, а не других компонентов;

2) каждая точка зрения отличается от других точек зрения различным количеством предлагаемых компонентов практики управления человеческими ресурсами, которое также недостаточно обосновано;

3) предлагаемые авторами компоненты в конкретных управленческих ситуациях актуальны в различной степени, что предполагает их ранжирование. Возможно, в одной организации в первую очередь необходимо совершенствование системы оплаты труда и вознаграждений, а в другой, обучение персонала;

4) использование приведенных выше компонентов предполагает разные методы управления. Так, например, делегирование ответственности, коммуникации, развитие карьеры, служебная аттестация относятся к административным методам управления; оплата, вознаграждения, а также компенсации осуществляются в рамках экономических методов, а самоуправляемые команды, баланс между работой и личной жизнью, уменьшение различий в статусе и практика, связанная с обменом знаниями или сменой работы продвигаются с помощью организационных методов. Если учитывать социально-психологические факторы, связанные с управлением организацией [28], то к отдельной группе методов управления следует отнести группу социально-психологических методов. Перечисленные выше группы методов предложены О. Николеску [5] и А. Я. Кибановым¹.

В результате можно сформулировать следующие теоретические и методические аспекты исследования:

(1) компоненты системы управления могут быть упорядочены на основе соответствующих классификационных признаков, что существенно облегчит их проектирование и внедрение в деятельность конкретной организации и цепи создания ценностей;

(2) методы управления не могут быть эффективными, если их использовать изолированно от других групп компонентов системы управления, таких как цели, задачи, принципы, подходы и функции [29], что требует системного подхода к решению данной задачи;

(3) перечисленные выше группы компонентов системы управления организацией,

должны стать основой для проектирования, формирования и оптимизации систем управления цепями различного типа, включая цепи создания ценностей.

МЕТОДОЛОГИЯ

Для изучения изложенных выше аспектов исследования необходимы качественные методы [30–33] и, в первую очередь, метод классификаций, который предполагает:

(1) обоснование и использование характерных для объекта исследования качественных признаков, а также факторов внешней среды и их дихотомий, количество и последовательность применения данных признаков устанавливается на основе двух базовых методов, касающихся уточнения сущности объекта исследования: анализа литературных источников и социологического опроса специалистов;

(2) создание логически обоснованных комбинаций дихотомий качественных признаков объекта исследования и факторов внешней среды, способствующих выделению не только состояний данного объекта, но и фаз его развития в зависимости от задачи, решаемой исследователем;

(3) формирование бинарных матриц, основу которых составляют комбинации указанных выше качественных признаков и дихотомий объекта исследования и факторов внешней среды, позволяющие обосновать 2^x вариантов данного объекта, где цифра «2» указывает на количество дихотомий, а x характеризует количество использованных качественных признаков;

(4) для обработки результатов исследования с помощью компьютерного обеспечения каждая дихотомия качественного признака может быть обозначена кодами «0» или «1». При этом код «0» не отражает отсутствие дихотомии, а подчёркивает её противоположность дихотомии с кодом «1»;

(5) операции, касающиеся выбора качественных признаков и дихотомий объекта исследования и факторов внешней среды, а также изучение их возможных комбинаций используются при дескрипторном методе исследования, а операции, способствующие выделению состояний данного объекта или фаз его развития, выполняются в рамках фасетного метода качественного исследования.

Инструменты реализации миссии организации

Планирование Этапы реализации миссии организации Выполнение	Ориентиры	Формы	Механизм
	(что?)	(с помощью чего?)	(каким образом?)
	Цели	Принципы	Задачи
	Подходы	Методы	Функции

Рис. 1. Классификация инструментов системы управления организацией [разработано автором].

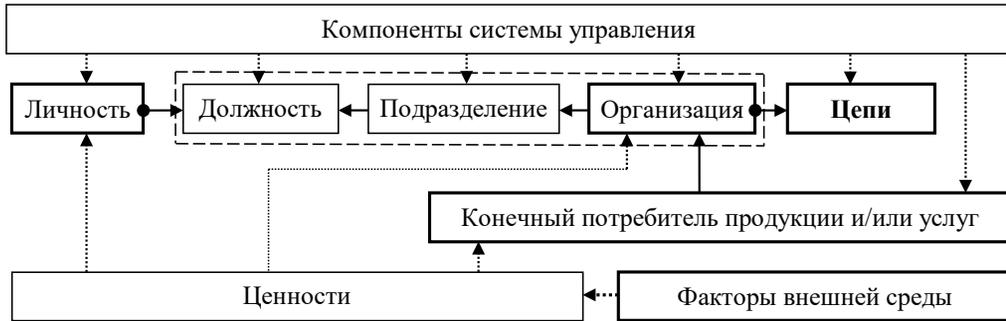


Рис. 2. Схема взаимодействия субъектов при формировании системы управления цепями ценности [разработано автором].

Бинарные матрицы позволяют разработать классификацию вариантов объекта исследования в рамках такого метода исследования как анализ. На основе данных вариантов можно формировать более сложные варианты объекта исследования на основе синтеза. Любая полученная с помощью бинарных матриц комбинация вариантов объекта обрабатывается на основе методов дедукции и индукции.

Таким образом, перечисленные выше специфические черты качественного исследования позволяют не только обосновать количество вариантов объекта исследования и их комбинаций, но и установить взаимосвязи между ними, используя соответствующие актуальные качественные признаки и их дихотомии, в отличие от тех вариантов и их комбинаций, которые предлагались и исследовались ранее.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Использование изложенных выше методов исследования позволяет уточнить содержание основных компонентов системы управления организацией и цепями создания ценности. Для этого целесообразно использовать следующие актуальные качественные признаки и дихотомии: «инструменты реализации миссии организации» – ориентиры (что стремится достичь организация?), формы (с по-

мощью чего это «что?» будет достигнуто); и механизм (каким образом будет достигнуто это «что?»), а также «этапы реализации миссии организации» – планирование и выполнение. Совместное использование данных признаков и дихотомий позволяет обосновать перечень компонентов системы управления организацией: цели, задачи, принципы, подходы, методы и функции (рис. 1).

Информация с рис. 1 позволяет сделать следующие выводы:

(1) компоненты системы управления распространяются не только на организацию, но и на следующие объекты её внешней и внутренней среды: (а) личность, претендующую на должность в данной организации; (б) должностное лицо; (в) подразделение организации; (г) цепь создания ценности; (д) конечного потребителя услуг и/или продукции (рис. 2);

(2) при управлении данными объектами необходимо учитывать не только содержание желаемых ими ценностей, но и необходимость их согласования при приоритете ценностей конечного потребителя, а также возможное изменение данных ценностей под воздействием факторов внешней среды;

(3) при управлении организацией необходимо:

(а) формировать данные компоненты с учётом ценностей данной организации;



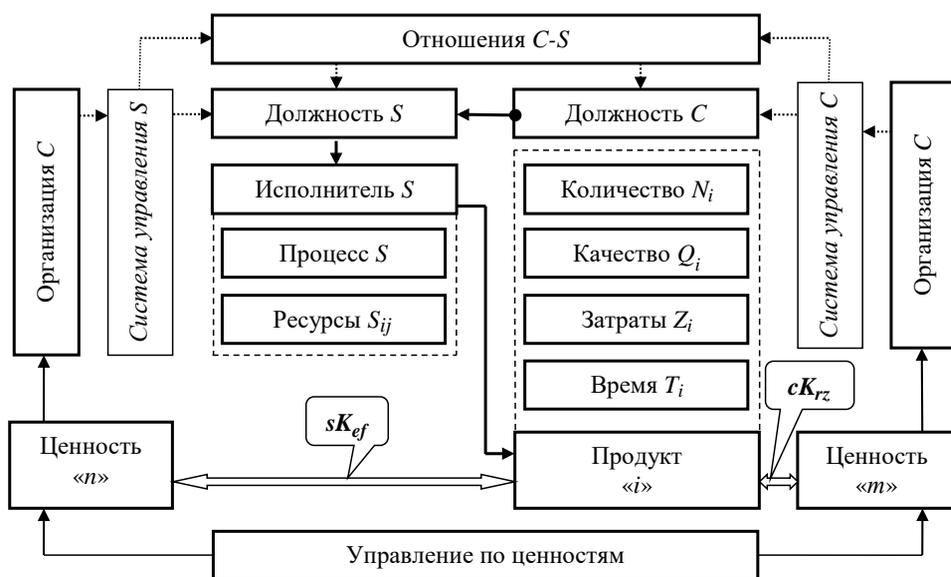


Рис. 3. Механизм формирования системы управления каналом поставок при реализации концепции управления по ценностям [разработано автором].

(б) структурировать и формализовать компоненты системы управления данной организацией по подразделениям и должностям системы управления;

(в) организовывать набор личностей для замещения должностей с учётом ценностей, как организации, так и данных личностей;

(г) ориентироваться на создание ценностей для конечного потребителя, что может потребовать корректировки существующей системы управления организацией;

(д) согласовать компоненты системы управления с компонентами систем управления смежными звеньями цепи создания ценностей. Механизм формирования системы управления каналом создания ценности, включающим системы управления организацией-поставщиком S и организацией-потребителем C , представлен на рис. 3.

Ориентация звеньев цепи на создание ценности предполагает разработку концепции управления по ценностям, предусматривающей согласование ценностей смежных звеньев цепи, одно из которых является поставщиком, а другое звено потребителем продукции и/или услуг. В качестве основы можно использовать концепцию управления по ценностям внутри организации, обоснованную С. Л. Доланом и Б. А. Ричли [34].

Ценность $\langle m \rangle$ организации-потребителя C является основой для формирования системы управления C данной организацией,

которая предполагает установление отношений $C-S$ с организацией-поставщиком S , ориентированной на ценность $\langle n \rangle$, на основе которой сформирована система управления S . Отношения между данными организациями осуществляют должностные лица C и S , соответственно. Результатом данных отношений является продукт $\langle i \rangle$, поставляемый организацией-поставщиком S .

Требование на изготовление и поставку данного продукта передаётся исполнителю S , который использует для этого соответствующие ресурсы S_{ij} и процесс S . Изготовленный продукт $\langle i \rangle$ по критериям количества, качества, затрат и времени приобретает организацией-потребителем C , которая, потребляя продукт, сопоставляет желаемую и воспринимаемую ценности, разница между которыми оценивается интегральным коэффициентом результативности cK_{rz} . Аналогичное сопоставление осуществляет организация-поставщик, которая также оценивает свою ценность с помощью интегрального показателя sK_{ef} . Если отклонения данных коэффициентов приемлемы, организации C и S функционируют в рамках сложившихся отношений, если они не допустимы, то эти отношения корректируются и, соответственно, меняется качество компонентов их систем управления. В ряде случаев отношения между организациями могут быть прерваны.

		Объект, на который направлено воздействие	
		Личность	Группа людей
Характер применения Воздействия	Относительно стабильный	Административные методы	Экономические методы
	Ситуационный	Социально-психологические методы	Организационные методы

Рис. 4. Классификация методов управления организацией [29].

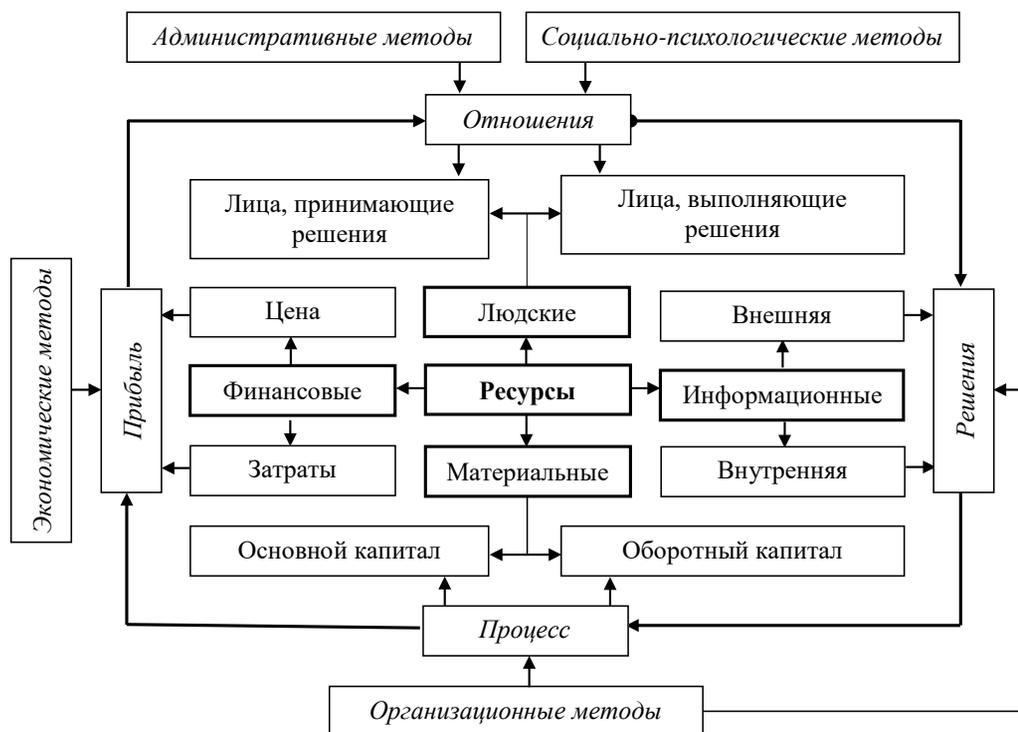


Рис. 5. Ресурсный подход к обоснованию методов управления организацией [разработано автором].

Ранее были представлены основные группы методов управления, рассматриваемых в качестве компонента системы управления организацией. Для того чтобы обосновать их количество и качество, целесообразно использовать следующие их актуальные признаки и дихотомии – «объект, на который направлено воздействие»: личность и группа людей, а также «характер применения воздействия» – относительно стабильный и ситуационный. Совместное использование данных признаков и дихотомий позволяет подтвердить наличие административных, экономических, социально-психологических и организационных методов управления организациями и/или цепями создания ценности (рис. 4).

Информация, представленная на рис. 4, может быть подтверждена на основе классификации перерабатываемых организацией ресурсов (рис. 5).

Ресурсы, традиционно подразделяемые на материальные, информационные, финансовые и людские [29], создают предпосылки для использования:

(1) административных и социально-психологических методов управления, используемых в отношениях между лицами, принимающими и выполняющими решения, относящимися к людским ресурсам. Данные методы управления в наибольшей степени соответствуют практике управления человеческими ресурсами;



Факторы, влияющие на отношения руководителей и исполнителей

Должностные полномочия Формы
взаимодействия

Проектирование и
формирование
**Этапы создания
системы управления**
Функционирование и
оптимизация

Определение и регламентация полномочий и использования власти	Распределение и интеграция функций, констатация ответственности
Предоставление права управления ресурсами	Управление коммуникациями в скалярных цепях

Рис. 6. Классификация административных методов управления организацией [разработано автором].

Форма участия работника в деятельности организации

Выполнение трудовых Принятие управленческих
функций решений

Организация
**Вид субъекта управления,
достигающего цель**
Работник организации

Управление формами оплаты труда	Владение собственностью организации
Управление системами премирования	Вознаграждение за снижение упущенной выгоды

Рис. 7. Классификация экономических методов управления организацией [разработано автором].

(2) экономических методов, ориентированных на извлечение прибыли, посредством управления затратами и ценообразованием, касающихся финансовых ресурсов. В этом случае можно говорить о практике управления финансовыми ресурсами (англ. – FRM);

(3) организационных методов, направленных: (а) на управление процессами с привлечением основного и оборотного капитала, в первую очередь, в виде материальных ресурсов; и (б) на обоснование и внедрение управленческих решений, основанных на использовании внешней и внутренней информации или информационных ресурсах. В зависимости от вида используемых ресурсов можно выделить, соответственно, практики управления материальными ресурсами (англ. – MRM) и информационными ресурсами (англ. – IRM).

Содержание рис. 5 является базовым, поскольку в отношении человеческих ресурсов используются все методы управления, представленные на рис. 4, которые, в свою очередь, также могут быть структурированы с целью последующего выбора принципов управления и подходов к его реализации.

Основные административные методы управления могут быть обоснованы на основе следующих актуальных качественных признаков и их дихотомий: «факторы, влияющие на отношения руководителей и исполнителей»: должностные полномочия и формы взаимодействия, а также «этапы создания системы управления организацией» – проектирование и формирование; функционирование и оптимизация. Сформированная на основе данных признаков и дихотомий бинарная матрица позволяет обосновать четыре административных метода управления, представленных на рис. 6.

Основные экономические методы управления могут быть обоснованы на основе следующих актуальных качественных признаков и их дихотомий: «форма участия работника в деятельности организации» – выполнение трудовых функций и принятие управленческих решений, а также «вид субъекта управления, достигающего цель» – организация в целом и работник организации. Комбинация данных признаков и дихотомий позволяет обосновать четыре экономических метода управления, представленных на рис. 7.

Основные социально-психологические методы управления могут быть обоснованы

		Тип объекта управления в организации	
		Личность	Группа людей
Формирование рабочих групп Приоритеты управления персоналом организации	Достижение целей организации	Адаптация характера и манеры поведения личности к условиям выполнения трудовых функций	Создание и сохранение социально-психологического климата в группах
		Ориентация на создание ценностей потребителя и исполнителя	Поддержание стремления к удовлетворению потребностей высшего уровня

Рис. 8. Классификация социально-психологических методов управления организацией [разработано автором].

		Форма воздействия на персонал организации	
		Индивидуальная	Коллективная
Тактическая Тип достигаемой цели	Стратегическая	Регламентация и соблюдение такта технологических операций	Внедрение процессного подхода (устранение межфункциональных барьеров)
		Управление изменениями в организации	Управление устойчивостью и устойчивым развитием организации

Рис. 9. Классификация организационных методов управления организацией [разработано автором].

на основе следующих актуальных качественных признаков и их дихотомий: «тип объекта управления в организации» – личность и группа людей, а также «приоритеты управления персоналом организации» – формирование рабочих групп и достижение цели организации. На рис. 8 представлена бинарная матрица, позволяющая выделить четыре варианта социально-психологических методов управления.

Основные организационные методы управления могут быть обоснованы на основе следующих актуальных качественных признаков и их дихотомий: «форма воздействия на персонал организации» – индивидуальная и коллективная, а также «тип достигаемой цели» – тактическая и стратегическая. Совместное использование данных признаков и дихотомий позволяет обосновать четыре организационных метода управления, представленных на рис. 9.

При необходимости каждый из методов управления организацией может быть структурирован на компоненты с учётом специфики данной организации. Кроме того, в ряде случаев можно установить приоритетные группы данных методов, а также ранжировать

эти методы в зависимости от конкретной управленческой ситуации. В результате формируются предпосылки для реализации того или иного стиля или, вернее, комбинированных стилей управления организацией с целью повышения её производительности и более качественного обслуживания конечных потребителей продукции и/или услуг.

Информация, представленная на рис. 6–9, позволяет установить взаимосвязи основных методов управления организацией, а также соответствующих им принципов и подходов к управлению объектами социально-экономических систем (табл. 2).

Таким образом:

(1) ориентируясь на основные группы методов управления (рис. 4), можно выделить следующие группы принципов и подходов к управлению: (а) отношениями, (б) эффективностью и результативностью, (в) персоналом, и (г) бизнес-процессами;

(2) каждому методу управления поставлен в соответствие принцип управления. Напомним, что к наиболее известным принципам управления организацией относятся принципы [35–40], число которых варьируется от 4 до 14. Как следует из таблицы 2, предлагае-



Взаимосвязи методов, принципов и подходов к управлению объектами социально-экономических систем [разработано автором]

Методы	Принципы	Подходы
Административные методы	Принципы и подходы к управлению организацией	
Определение и регламентация полномочий и использования власти	Соответствие знаний, умений, навыков и компетенций исполнителя занимаемой должности	Структурный
Распределение и согласование функций, констатация ответственности	Равномерность распределения трудоёмкости процессов управления организацией	Директивный
Предоставление права управления ресурсами	Соответствие полномочий и используемых для их осуществления ресурсов	Ресурсный
Управление коммуникациями в скалярных цепях	Формализация управленческих воздействий и субординация должностей на различных уровнях управления	Социальный
Экономические методы	Принципы и подходы к управлению эффективностью и результативностью	
Управление формами оплаты труда	Соответствие трудового вклада исполнителей в достижение цели организации и получаемой ими заработной платы	Экономический
Владение собственностью организации	Рациональная загрузка и использование основного и оборотного капитала организации	Прагматический
Управление системами премирования	Справедливое распределение полученных организацией результатов в условиях нестабильной окружающей среды	Эксклюзивный
Вознаграждение за снижение упущенной выгоды	Поиск резервов совершенствования деятельности организации и разработка рекомендаций по их использованию	Предпринимательский
Социально-психологические методы	Принципы и подходы к управлению персоналом	
Адаптация характера и манеры поведения личности к условиям выполнения трудовых функций	Максимальное использование трудового потенциала сотрудников организации и достижение синергетического эффекта	Адаптивный
Создание и сохранение социально-психологического климата в группах	Исключение факторов негативного воздействия на сотрудников и рабочие группы и эффективное управление конфликтами в организации	Корпоративный
Ориентация на создание ценностей потребителя и исполнителя	Формирование и развитие отношений в организации и с контрагентами	Маркетинговый
Поддержание стремления к удовлетворению потребностей высшего уровня	Развитие интеллектуального потенциала исполнителей и нематериальных активов организации	Мотивационный
Организационные методы	Принципы и подходы к управлению бизнес-процессами	
Регламентация и соблюдение такта технологических операций	Максимальная загрузка производственных мощностей, выявление и предотвращение форс-мажорных ситуаций при выполнении заказов потребителей	Оптимизационный
Внедрение процессного подхода (устранение межфункциональных барьеров)	Исключение потерь упущенной выгоды на стыках трудовых функций исполнителей и подразделений организации	Процессный
Управление изменениями в организации	Минимизация затрат, времени и упущенной выгоды при корректировке деятельности и реструктуризации организации	Ситуационный
Управление устойчивостью и устойчивым развитием организации	Учёт экономических, экологических и социальных аспектов устойчивого развития организации	Стратегический

мые принципы управления организацией представляют собой двухуровневую конструкцию. На первом уровне представлены группы данных принципов, а на втором уровне принципы управления. Поскольку каждый принцип связан с конкретным методом управления, то в соответствии с данными рис. 4 и 6–9 они связаны друг с другом благодаря актуальным качественным признакам и их дихотомиям. То есть можно утверждать, что в отличие от уже известных перечней принципов управления предлагаемые автором принципы сформированы на основе системного подхода;

(3) каждому методу управления поставлен в соответствие подход управления. Их также насчитывается 16, причём совместное их использование: (а) осуществляется на основе системного подхода, и (б) сопровождается чётко сформулированными связями по аналогии со связями принципов управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты, по мнению автора, являются основой для проведения дальнейших исследований на основе однозначно представленных групп методов управления транспортной организацией, а также отдельных методов управления, каждому из которых поставлены в соответствие принцип и подход к управлению, а также рекомендаций по формированию интегрированной системы управления цепями ценностей, снижающий возможность появления противоречий и конфликтов при создании ценности для конечных потребителей продукции и/или услуг.

Каждому изложенному в данной статье методу, принципу и подходу к управлению может быть присвоен соответствующий бинарный код, позволяющий обрабатывать информацию о состоянии систем управления различного типа и уровня с помощью компьютерного обеспечения управленческой деятельности применительно к транспортной отрасли. При этом снижается вероятность ошибок и, тем самым, повышается качество принимаемых управленческих решений и снижается время на его внедрение.

В ходе дальнейших исследований предполагается уточнить сущность и содержание так называемых систем «самоуправления» конечным потребителем продукции и/или услуг, предоставляемых транспортными организациями; сформировать подход к мониторингу

компонентов систем данного типа; оценить тенденции управления устойчивостью и устойчивого развития систем «самоуправления» конечным потребителем продукции и/или услуг с учётом экономического, социального и экологического аспектов управления данного типа; выявить особенности и механизм формирования «эффекта бычьего кнута» в системе управления цепями создания ценностей и разработать рекомендации по снижению его негативного влияния на результаты деятельности цепей различного типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. IAEA. International Atomic Energy Agency. Implementation of a management system for operating organizations of research reactors, 2013. Vienna International Centre, Vienna, Austria. [Электронный ресурс]: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1584_web.pdf. Доступ 08.01.2023.
2. Baron, J. N., Kreps, D. M. Strategic Human Resources: Frameworks for General Managers. New York: John Wiley, 1999, 624 p. ISBN 978-0471072539.
3. Armstrong, M. A handbook of human resource management practice. 10th ed. London and Philadelphia: Kogan Page, 2006, 982 p. ISBN 978-0-7494-6964-1.
4. Chong, L., Ngolob, R. A., Thelma, D., Palaoag, T. D. Human Resource Management (HRM) Practices. Journal of Advanced Management Science, 2020, Vol. 8, No. 4, pp. 121–125. [Электронный ресурс]: <http://www.joams.com/uploadfile/2020/1204/20201204054001158.pdf>. Доступ 09.01.2023.
5. Nicolescu, O. Methods and Techniques Specific to Human Resource Management. Review of International Comparative Management, 2009, Vol. 10, Iss. 1, pp. 5–18. [Электронный ресурс]: https://rmci.ase.ro/no10vol1/Vol10_No1_Article1.pdf. Доступ 09.01.2023.
6. Huselid, M. A. The Impact of Human Resource Management Practices on Turnover, Productivity and Corporate Financial Performance. Academy of Management Journal, 1995, Vol. 38, No. 3, pp. 635–672. DOI: 10.5465/256741.
7. Orpen, C. The effects of formal mentoring on employee work motivation, organizational commitment and job performance. The Learning Organization, 1997, Vol. 4, No. 2, pp. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1108/09696479710160906>.
8. Den, H. D. N., Verburg, R. M. High performance work systems, organizational culture and firm performance. Human Resource Management Journal, 2004, No. 14, pp. 55–78. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-8583.2004.tb00112.x>.
9. Frye, M. B. Equity-based compensation for employees: Firm performance and determinants. Journal of Financial Research, 2004, Vol. 27, No. 1, pp. 31–54. DOI: 10.1111/j.1475-6803.2004.00076.x.
10. Janod, V., Saint-Martin, A. Measuring the Impact of Work Reorganization on Firm Performance: Evidence from French Manufacturing, 1995–1999. Labour Economics, 2004, Vol. 11, No. 6, pp. 785–798. DOI: 10.1016/j.labeco.2004.04.001.
11. Horgan, J., Mohalu, P. Human resource systems and employee performance in Ireland and the Netherlands: a test of the complementarity hypothesis. International Journal of Human Resource Management, 2006, Vol. 17, No. 3, pp. 414–439. DOI: 10.1080/09585190500521409.
12. Bashir, S., Khattak, H. R. Impact of selected HR practices on perceived employee performance, a study of



- Public Sector Employees in Pakistan. *European Journal of Social Sciences*, 2008, Vol. 5, No. 4, pp. 243–252. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/287100352_Impact_of_selected_HR_practices_on_perceived_employee_performance_a_study_of_public_sector_employees_in_Pakistan. Доступ 09.01.2023.
13. Aguinis, H., Joo, H., Gottfredson, R. K. What monetary rewards can and cannot do: How to show employees the money? *Business Horizons*, 2013, Vol. 56, No. 2, pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.bushor.2012.11.007.
14. Fahim, M. G. A. Strategic human resource management and public employee retention. *Review of Economics and Political Science*, 2018, Vol. 3, No. 2, pp. 20–39. DOI: 10.1108/REPS-07-2018-002.
15. Ulrich, D. *Human Resource Champions*. Boston: Harvard Business School Press, 1997, 304 p. ISBN-13978-0875847191.
16. Capelli, P., Neumark, D. Do «high-performance» work practices improve establishment level outcomes? *Industrial and Labor Relations Review*, 1999, Vol. 54, No. 4, pp. 737–775. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/5195348_Do_High_Performance_Work_Practices_Improve_Establishment_Level_Outcomes/link/55c37f2a08aeca747d5fa6fb/download. Доступ 09.01.2023.
17. Guest, D. Human resource management and performance: still searching for some answers. *Human Resource Management Journal*, 2011, Vol. 21, No. 1, pp. 3–13. DOI: 10.1111/j.1748-8583.2010.00164.x.
18. Gutterman, A. S. *Managing Sustainability*, New York: Routledge, 2020, 192 p. ISBN 9780367518547.
19. Alshammari, A. A. The Impact of Human Resource Management Practices, Organizational Learning, Organizational Culture and Knowledge Management Capabilities on Organizational Performance in Saudi Organizations: A Conceptual Framework. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, 2020, Vol. XXIX, No. 4, pp. 714–721. DOI: 10.24205/03276716.2020.876.
20. Purcell, J. The challenge of human resource management for industrial relations research and practice. *The International Journal of Human Resource Management*, 1993, Vol. 4, No. 3, pp. 511–527. DOI: 10.1080/09585199300000034.
21. Guest, D. E. Human resource management and performance: a review and research agenda. *International Journal of Human Resource Management*, 1997, Vol. 8, No. 3, pp. 263–276. DOI: 10.1080/095851997341630.
22. Boselie, P., Dietz, G., Boon, C. Commonalities and contradictions in HRM and performance research. *Human Resource Management Journal*, 2005, Vol. 36, No. 1, pp. 39–47. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/261215048_boselie_dietz_boon_2005_hrjm. Доступ 09.01.2023.
23. Dessler, G. *Human Resource Management*. 11th ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2007, 401 p. ISBN 9780131976061.
24. Foss, N. J., Laursen, K., Pedersen, T. Linking Customer Interaction and Innovation: The Mediating Role of New Organizational Practices. *Organization Science*, 2011, Vol. 22, No. 4, pp. 980–999. DOI: 10.2307/20868907.
25. Laursen, K., Foss, N. J. Human Resource Management Practices and innovation. *SSRN Electronic Journal*, [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/256035118_Human_Resource_Management_Practices_and_Innovation/link/5a1e87870f7e9b9d5efff4e8/download. Доступ 09.01.2023.
26. Alusa, K., Kariuk, A. Human Resource Management Practices, Employee Outcome and Performance of Coffee Research Foundation, Kenya. *European Journal of Business and Management*, 2015, Vol. 7, No. 3, pp. 72–79. [Электронный ресурс]: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/EJBM/article/view/19502>. Доступ 09.01.2023.
27. Sepahvand, R., Khodashahri, R. B. Strategic Human Resource Management Practices and Employee Retention: A Study of the Moderating Role of Job Engagement. *Iranian Journal of Management Studies*, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 437–468. DOI: 10.22059/IJMS.2020.291391.673843.
28. Yao, T.; Qiu, Q.; Wei, Y. Retaining hotel employees as internal customers: Effect of organizational commitment on attitudinal and behavioral loyalty of employees. *International Journal of Hospitality Management*, 2019, No. 76, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.03.018.
29. Тяпухин А. П. Логистика. Управление цепями поставок. – М.: КноРус, 2018, 454 с. ISBN 978-5-9916-1788-8.
30. Bailey, K. D. *Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques*. London: Sage Publications, Inc., 1994, 90 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.4135/9781412986397>.
31. Creswell, J. W. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. USA: SAGE Publications, Inc., 2014, 273 p. ISBN 978-1-4129-6556-9.
32. Hameed, H. Quantitative and qualitative research methods: Considerations and issues in qualitative research. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/342491265_Quantitative_and_qualitative_research_methods_Considerations_and_issues_in_qualitative_research/link/5ef6c13b92851c52d60064b5/download. Доступ 09.01.2023.
33. Strauss, A. L., Corbin, J. M. *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*, 1st edition. Newbury Park: SAGE Publications, 1991, 270 p. ISBN-13978-0803932517.
34. Dolan, S. L., Richley, B. A. Management by values (MBV): a new philosophy for a new economic order. *Handbook of Business Strategy*, 2006, Vol. 7, Iss. 1, pp. 235–238. DOI: 10.1108/10775730610618873.
35. Deming, W. E. *Out of the crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute for Technology Press, 1982, 507 p. ISBN 9780262541152.
36. Drucker, P. *The practice of management*. New York: Harper & Row, 1954, 416 p. ISBN 9780062005441.
37. Fayol, H. *General and Industrial Management*. Paris: Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1916, 142 p. ISBN-13978-0879421786. [Электронный ресурс]: <https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/1931/files/2016/09/Fayol-1916.pdf>. Доступ 09.01.2023.
38. Liker, J. K. *The Toyota way: 14 Management principles from the world's greatest manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004, 350 p. ISBN 9780071392310.
39. Taylor, F. W. *The principles of Scientific Management*. New York, London: Harper and Brothers Publishers, 1919, 144 p. [Электронный ресурс]: [https://strategy.sjsu.edu/www.stable/pdf/Taylor,%20F.%20W.%20\(1911\).%20New%20York,%20Harper%20&%20Brothers.pdf](https://strategy.sjsu.edu/www.stable/pdf/Taylor,%20F.%20W.%20(1911).%20New%20York,%20Harper%20&%20Brothers.pdf). Доступ 09.01.2023.
40. Urwick, L. F. *The Elements of Administration*. New York: Harpen and Row, 1943, 132 p. DOI: <https://doi.org/10.2307/1948847>. ●

Информация об авторе:

Тяпухин Алексей Петрович – доктор экономических наук, профессор, директор Оренбургского филиала Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, artuarpin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 03.03.2023.



Имитационная модель управления сбойной ситуацией в аэропорту



Василий Егорович Жуков

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

✉ vasizhukov@yandex.ru.

Василий ЖУКОВ

АННОТАЦИЯ

Обеспечение регулярности выполнения рейсов является одной из ключевых задач авиакомпании. Три главные компоненты эффективного функционирования системы воздушного транспорта – это обеспечение безопасности полётов, обеспечение регулярности и высокое качество оказываемых услуг, то есть сервисная составляющая процесса авиаперевозки.

При этом стоит обратить внимание на тот факт, что регулярность или пунктуальность выполнения рейсов является основой для обеспечения безопасности, ритмичное выполнение суточного плана позволяет строго выдерживать нормы по своевременному техническому обслуживанию и профилактическим осмотрам воздушных судов. А рейсы, выполняемые со значительными задержками, сводят на нет все усилия авиаперевозчиков показать высокий уровень сервиса на борту и при обслуживании пассажиров в аэропортах. Нарушение регулярности выполнения рейсов приносит авиакомпании убытки и значительный

ущерб репутации. Традиционными причинами задержки рейсов являются – неблагоприятные метеоусловия, технические причины, позднее прибытие самолёта. Но у некоторых российских авиакомпаний периодически нарастает показатель задержек вылетов и прибытия рейсов и по причинам загруженности аэропортов, загруженности зон ожидания аэропортов, сбоев в ритмичности выполнения суточного плана.

Каждая задержка рейса создаёт сбойную ситуацию. Вопрос управления сбойной ситуацией всегда являлся темой для научных дискуссий и исследований. Цель исследования – разработать модель управления сбойной ситуацией, задача – изучение вариантов решений в виде очереди воздушных судов на вылет и анализ результатов этих решений, где целевой функцией будет минимизация убытков от задержки.

Для принятия решений предлагается использование имитационной модели условной сбойной ситуации, описанию содержания которой и посвящена эта статья.

Ключевые слова: авиационный транспорт, аэропорт, регулярность выполнения рейсов, сбойная ситуация, убытки авиакомпании, имитационная модель.

Для цитирования: Жуков В. Е. Имитационная модель управления сбойной ситуацией в аэропорту // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 67–74. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-8>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Регулярность выполнения рейсов для каждой авиакомпании – ключевой показатель оценки её деятельности. Если придерживаться международных норм оценки регулярности (пунктуальности), то задержанным будет считаться рейс, выполненный с пятнадцатиминутным опозданием по прибытию или вылету. Тогда по оценке OAG (Official Aviation Guide – официальный авиационный справочник) пунктуальность выполнения рейсов российских авиакомпаний составляет от 53 до 72 %¹. В 2019 году OAG назвал самые пунктуальные аэропорты и авиакомпании. «Лидером по пунктуальности среди крупных аэропортов, которые в год обслуживают более 30 млн вылетающих пассажиров, стал токийский Ханэда. После него идут: аэропорт Атланты (США); аэропорт Чанги (Сингапур); аэропорт Денвера (США); аэропорт Лос-Анджелеса (США).

В категории «Главные аэропорты» (20–30 млн вылетающих пассажиров в год) первое место занял московский аэропорт «Шереметьево». Самым пунктуальным маленьким аэропортом (2,5–5 млн вылетов в год) стал воздушный транспортный узел Минска.

Топ-10 самых пунктуальных авиакомпаний мира: Copa Airlines (Панама); airBaltic (Латвия); Hong Kong Airlines (Китай); Hawaiian Airlines (США); Bangkok Airways (Таиланд); Qantas Airways (Австралия); LATAM Airlines (Чили); Azul (Бразилия); Qatar Airways (Катар); KLM (Нидерланды).

Из российских авиаперевозчиков компания S7 вошла в рейтинг самых пунктуальных магистральных авиалиний (18 место) и самых пунктуальных перевозчиков в Европе (шестое место)².

Кроме изучения статистики регулярности выполнения рейсов, важным направлением исследования является управление процессом разрешения сбойной ситуации в аэропорту. Информационные системы с вложенными алгоритмами разрешения проблемы сбоя в регулярности, искусственный интеллект в управлении потоками пассажиров и рейсов ещё долго не

смогут заменить опыт, интуицию и навыки, вложенные в «живой» ум опытного оператора. Нужно только создать среду для принятия решения, предсказать, что очень важно, экономический эффект. Имитационная модель не предлагает оптимального решения, но помогает лучше понять обоснованность управленческих решений.

Объект исследования, изложенного в данной статье, – это процесс выбора решения по управлению сбойной ситуацией, который заключается в том, что исследователю предлагается построить очередь на вылет из задержанных в аэропорту рейсов с минимизацией убытков авиакомпаний, связанных с нарушением регулярности полётов.

Цель – исследовать модель управления сбойной ситуацией. Задача – изучение вариантов решений в виде очереди воздушных судов на вылет и анализ результатов этих решений, где целевой функцией будет минимизация убытков от задержки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Подходы к изучению проблемы исследования

«Для экономически эффективного функционирования авиакомпании в условиях конкуренции одним из важнейших факторов является проблема регулярности полётов. Несоблюдение сроков вылета и прибытия рейсов влечёт перевозчика в дополнительные расходы, связанные со штрафными санкциями пассажирам, грузополучателям и грузоотправителям, а также аэропортам, если задержки рейсов происходят по вине авиакомпании, что связано, как правило, с ошибками менеджмента. Регулярность полётов воздушных судов гражданской авиации включает понятие регулярности отправок воздушных судов и регулярности выполнения рейсов. Регулярность полётов характеризует работу предприятий гражданской авиации по доставке пассажиров, багажа и грузов в соответствии с договором на перевозку. Регулярность полётов – выраженное в процентах отношение количества выполненных рейсов без задержки к общему количеству выполненных рейсов. Это один из важнейших показателей качества функционирования авиатранспортных предприятий» [1]. Приведённая цитата из статьи молодого исследователя Д. А. Наумовой является актуальной на все времена коммерческого использования воздушного транспорта. Видимо, только консерватизм подхода к определению регулярности по-

¹ Российские авиакомпании к концу 2021 года растеряли пунктуальность. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/01/13/904695-aviakompanii-rasteryali-punktualnost>. Доступ 13.01.2023.

² OAG Aviation Worldwide составила рейтинг самых пунктуальных авиакомпаний и аэропортов мира. [Электронный ресурс]: <https://www.aex.ru/news/2019/1/6/192271/>. Доступ 13.01.2023.

лёт и определяет тот факт, что до декабря 2020 года основным документом, предназначенным для определения и расчёта регулярности полётов, являлось «Руководство по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации СССР», утверждённое приказом МГА от 10.01.1990 г. № 6³, которое было отменено Приказом Минтранса России от 04.12.2020 г. № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта»⁴.

В отдельных открытых источниках появилась информация о том, что: «Минтранс приступил к разработке новых норм учёта регулярности авиарейсов. Они должны заменить правила, действующие со времён СССР, сообщили «Известиям» в ведомстве. В частности, предлагается детализировать причины задержек вылета и чётко указывать виновного – аэропорт, авиакомпанию или оператора наземного обслуживания. Это позволит выявлять узкие места в работе этих структур и повысить пунктуальность перевозчиков – пассажирам не придётся часами сидеть в аэропортах в ожидании рейса, считают эксперты. Но участникам рынка будет непросто договориться о единой методике»⁵. В настоящее время от-

ветственность за задержку рейса целиком и полностью ложится на авиаперевозчика, хотя многие проблемы с обеспечением своевременности отправки рейса или обеспечением его прибытия создаются операторами аэропортов. Вот именно по этой причине проектов и даже локальных нормативных актов по обеспечению и расчёту регулярности полётов воздушных судов существует огромное множество. В Министерство транспорта поступили проекты нормативного документа от ассоциации «Аэропорт», главных операторов аэропортов «Шереметьево» и «Домодедово». Локальные документы, учитывающие регулярность полётов, носят различные названия, так для аэропорта «Домодедово» разработано «Руководство пользователя аэропорта Домодедово»⁶, в котором имеется раздел, посвящённый учёту пунктуальности полётов. Однако даже определение «пунктуальность полётов» в нём отсутствует. В «Руководстве по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации СССР (РПП ГА-90)» конкретизировано понятие «регулярность полётов». «Регулярность полётов ВС ГА – включает в себя понятие регулярности отправок ВС и регулярность выполнения рейсов. Регулярность полётов характеризует работу предприятий и управлений ГА и отрасли в целом по доставке пассажиров, багажа и грузов в соответствии с договором на перевозку»³. Определение подчёркивает социальную значимость процесса выполнения полётов воздушными судами гражданской авиации. Возможно, отсутствие единого подхода к регламентированию задержек вылетов рейсов и определения ответственности конкретного виновного в этой задержке приводит к тому, что вольное толкование значимости сбоя регулярного выполнения рейсов приводит к появлению информации о том, что задержки и отмены рейсов выгодны авиакомпаниям⁷. Особенно, если рейс выполняется с загрузкой меньше плановой, тогда рейс можно отменить

³ Приказ МГА СССР от 10 января 1990 г. № 6 «Об утверждении и введении в действие Руководства по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации» (документ утратил силу). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/70198590/>. Доступ 13.01.2023.

⁴ Приказ Минтранса России от 04.12.2020 г. № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта». [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375322/. Доступ 13.01.2023.

⁵ Волобуев А., Цырулева И. Это залёт: авиакомпаниям пропишут пунктуальность. Минтранс готовит новую методику учёта задержек рейсов // Известия, 22 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/870098/aleksandr-volobuev-irina-tcyruleva/etozalet-aviakompaniam-propishut-punktualnost>. Доступ 13.01.2023.

⁶ Руководство пользователя аэропорта «Домодедово» (версия 25). [Электронный ресурс]: [https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20\(версия%2025\).pdf](https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20(версия%2025).pdf). Доступ 13.01.2023.

⁷ Волобуев А., Цырулева И. Отменная позиция: кому выгодны массовые задержки авиарейсов. «Известия» выяснили, как российские перевозчики зарабатывают на непогоде // Известия, 1 февраля 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/840013/aleksandr-volobuev-irina-tcyruleva/otmennaia-poziticia-komu-vygodny-massovye-zaderzhki-aviareisov>. Доступ 13.01.2023.



или совместить с другим рейсом с такой же низкой загрузкой. В итоге, авиакомпания экономит на заправке топливом, аэропортовых сборах и наземном обслуживании. Справедливости ради нужно сказать, что невыполненный рейс принесёт убытки от непокрытых постоянных расходов авиакомпании, самым большим из которых является лизинговый платеж. Можно выполнить нехитрый расчёт суммы таких убытков: расходы на лизинг воздушного судна типа А-320 составляют по примерной оценке 350–380 тысяч долларов в месяц. Если в месяце 720 часов, то расходы на лизинг 527,77 долларов в час или примерно 37 000 рублей по курсу на момент написания статьи. Суточный налёт на воздушное судно, в передовых авиакомпаниях, составляет 12 часов, то есть авиакомпания уже по плану несёт убытки от лизинга в размере 444 000 рублей в сутки. А отмена рейса и последующее возвращение рейса в суточный план полётов займёт не менее восьми часов, тогда убытки увеличатся до 740 000 рублей, так что экономия расходов на заправке будет точно сведена к нулю. Не вдаваясь в подробности расчёта потребного количества топлива на двухчасовой полёт воздушного судна А-320, можно рассчитать, что при расходе топлива 3,2 тонн на час полёта и с учётом запаса для ухода на близко расположенный запасной аэродром понадобится примерно десять тонн авиационного керосина. Средняя стоимость тонны керосина по данным ФАВТ (Федерального агентства воздушного транспорта) – 67 173 рублей⁸. Следовательно, расходы на заправку составят, минимум 671 730 рублей. То есть сумма постоянных, непокрытых выполнением рейса расходов даже больше, чем сумма переменных расходов на заправку воздушного судна.

В связи с этим довольно сложно сказать, что более выгодно для авиакомпании – отмена задержанного рейса или его выполнение по прошествии времени задержки.

По оценкам европейских специалистов, затраты на восстановление расписания после сбойной ситуации в 2010 году составили 1,25 млрд евро, то есть, около 81 евро за минуту задержки [2]. Какие расходы будут больше: ничем не покрытые постоянные расходы или переменные расходы при выполнении

⁸ Федеральное агентство воздушного транспорта. Росавиация. Цены на АВИАГСМ в 2022 году. [Электронный ресурс]: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-ceny-na-aviagsm/?id=8788>. Доступ 13.01.2023.

рейса? В первом приближении удельная составляющая переменных расходов – примерно 72 % от суммы эксплуатационных расходов, постоянных расходов в их составе, соответственно, 28 %, но эти 72 % расходов при выполнении рейсов, то есть 12 часов в сутки, а 28 % – круглосуточно. Как было уже отмечено, при задержке рейса убытки приносят не окупившиеся эксплуатационные расходы. Но есть вторая составляющая убытков при задержке рейсов – это дополнительные расходы на выплату компенсаций пассажирам, расходы на питание и напитки для пассажиров, размещение в гостинице, трансферы, расходы на пересадку пассажиров на рейсы других авиакомпаний с оформлением манифеста прерванного полёта. По оценке специалистов из США, в 2007 году прямые эксплуатационные расходы, связанные с задержками графика на рынке США, составили около восьми млрд долларов. Стоимость задержек для пассажиров была оценена теми же авторами в четыре млрд долларов в год [3].

Наиболее сложным является вопрос управления сбойной ситуацией, особенно при массовых задержках рейсов. Направления научных исследований по этой проблеме посвящены не только управлению задержками, вызванными форс-мажорными обстоятельствами, но и системным вопросам развития аэропортов, в результате интенсификации деятельности которых становится всё больше ситуаций, приводящих к нарушению пунктуальности выполнения рейсов.

Увеличение интенсивности воздушного движения приводит к задержке воздушных судов в зоне ожидания посадки. Интенсивность воздушного движения в аэропортах крупных мегаполисов – к тому, что 60–65 взлётно-посадочных операций в час становится недостаточным показателем и, естественно, любая минутная задержка при посадке или взлёте воздушного судна приводит к сбойной ситуации и образованию очереди на вылет. И как следствие задержки – расходы на топливо и удар по имиджу авиакомпании.

Серьёзной проблемой, ограничивающей ритмичность работы аэропорта, является взлётно-посадочная скорость разных типов воздушных судов. Воздушные суда с меньшей скоростью набора высоты или снижения увеличивают временной интервал пребывания воздушного судна на взлётно-посадочной полосе. Эта проблема подробно проанализиро-

Причины и продолжительность задержек (%) [10]

Причина задержки / Продолжительность	Менее 15 минут	0:15–0:30	0:31–1:00	1:01–2:00	Более 2:00
Не категорированная задержка (разные причины)	32,61	5,98	2,99	2,77	2,38
Эксплуатационные причины авиакомпании	2,20	4,36	4,76	4,76	2,79
Задержка из-за пассажиров и их багажа	2,97	3,46	1,68	0,81	0,55
Задержка, вызванная во время обслуживания воздушного судна поставщиками – погрузочно-разгрузочные работы, топливо, кейтеринг	2,44	2,83	0,95	0,53	0,20
Задержка, вызванная техническим обслуживанием или дефектом воздушного судна	1,85	3,98	5,08	6,72	12,83
Задержка, вызванная оперативным контролем и нормами дежурства экипажа	3,24	4,43	2,96	2,46	2,00
Задержка, вызванная управлением воздушным движением	12,76	15,24	8,58	4,60	2,50
Задержка, вызванная ограничением аэропорта	10,81	6,09	2,06	1,02	0,67
Задержка, вызванная задержкой предыдущего рейса	31,12	53,64	70,94	76,41	76,08

вана в [4]. Создание буферного, избыточного времени для выравнивания расписания исследуется в [5].

Другие исследования посвящены изучению более привычных причин задержки авиарейсов. В работе [6] изучили несколько определяющих причин задержки рейса в международном аэропорту Ньюарка (EWR) с использованием комплексного подхода. Результаты показывают, что неблагоприятные погодные условия, низкие потолки (нижняя кромка облаков) и плохая видимость сильно влияют на задержки рейсов. Аналогично, в [7] исследовали основные причинные факторы задержек рейсов путём ранжирования различных факторов с использованием аналитического иерархического процесса. Авторы обнаружили, что технический сбой и задержка ввода данных являются двумя наиболее влиятельными факторами. Основываясь на выявлении причинно-следственных факторов, дальнейшие исследования изучили количественное влияние каждого фактора на задержку рейса. Анализируя характеристики задержек вылета и прибытия рейсов путём построения функций плотности вероятности, Мюллер и др. [8] исследовали несколько причинных факторов задержек, таких как объём перевозок, тип воздушного судна, техническое обслуживание воздушного судна, операции авиакомпании, погодные условия, изменение процедур в пути, ограничения пропускной способности, проблемы с обслуживанием клиентов и позднее прибытие воздушного судна или экипажа. Другая статья – Шаову Чена, Янин Чжана и других –

«Изучение задержки вылета рейса и причинного фактора с использованием пространственного анализа» использовала при этом несколько методологических подходов («Для анализа факторов, влияющих на задержку прибытия и вылета рейса, было использовано несколько подходов»). При этом результаты показывают, что погода способствовала 69 % задержек» [9].

Однако стоит отметить тот факт, что при исследовании причин задержек рейсов сформировалась противоречивая статистика среди исследований в США и Европе. Европейские исследования показывают, что наибольшие задержки по времени составляют задержки, связанные с поздним временем прибытия воздушных судов, то есть с нарушением графика движения (табл. 1).

В США основная причина – «погодные условия», приводящие к сбою работы и без того уже перегруженные аэропорты. Кроме того, главной причиной задержек рейсов в США называется плохое планирование деятельности аэропорта, без учёта реальной пропускной способности (рис. 1.)

Предложения по реализации метода управления сбойной ситуацией

Методы управления сбойной ситуацией рассматриваются в ряде научно-практических разработках для управления ресурсами в сбойной ситуации. Так, например, в исследовании [12], целевая функция – это общее время задержки, которая стремится к минимуму. Оптимальное распределение организационных



**Исходные условия для решения задачи по управлению сбойной ситуацией
[выполнено автором]**

Задержанные рейсы						
№ рейса	Направление	Время вылета по расписанию		Тип ВС	Кол-во пассажиров	Расходы на тип ВС
		Часы	Минуты			
711	Козельск	18	0	АН24	32	980
712	Москва-ДМД	18	30	A319	104	31387
713	Екатеринбург	19	0	A320	80	36729
714	Челябинск	20	0	Б735	85	33390
715	Мурманск	20	30	ERJ-170	50	18200
716	Хабаровск	21	0	Б757	110	49418
717	Воронеж	22	0	Б738	80	38000
718	Самара	22	30	ERJ-170	45	18200
719	Красноярск	23	0	Б739	150	39000
720	Новосибирск	23	30	Б767	105	48000
721	Тюмень	0	30	Б735	90	33390
722	Калининград	1	30	A320	120	36729
723	Волгоград	2	30	Ф50	40	13356
Рейсы по расписанию						
772	Москва-ВНК	6	30	Б735	100	33390
773	Якутск	7	0	Б757	90	49418
774	Уфа	7	30	Б738	110	38000
775	Краснодар	8	0	A320	90	36729
776	Сочи	8	30	Б738	104	38000
777	Анапа	9	0	ERJ-170	68	18200



Рис. 1. Причины задержек рейсов [11].

ресурсов – суть решения этой задачи. Варианты изучения составляющих убытков и их величины в работе не исследованы.

В данной работе предлагается рассмотреть имитационную модель, на основании которой можно изучить расходы авиакомпании при задержке рейса и алгоритм принятия решений при управлении сбойной ситуацией, связанной с массовой задержкой отправления рейсов в аэропорту. В основе имитации – сбойная ситуация, связанная с задержкой 13 рейсов. По условиям исследования задержка началась с 18 часов первых суток и начала разрешаться с 03

часов следующих суток. Исследователю предстоит построить очередь на вылет, начиная с 03 часов с интервалом в 30 минут.

В табл. 2 представлен суточный план на текущие сутки и начало следующих суток. Расписание, представленное в таблице, – гипотетическое, так как описанная ситуация моделирует учебную задачу для наработки навыков принятия решения в сбойной ситуации и оценки принятых решений. Вариантов построения очереди на вылет может быть несколько. В виде обычной системы массового обслуживания «первый пришёл – первый ушёл», то есть, соблюдая график движения, заложенный в суточном плане. Второй вариант – «последний пришёл – первый ушёл» с целью минимизировать время задержки для тех рейсов, которые ближе ко времени открытия аэропорта на вылет. Третий вариант – минимизировать убытки авиакомпании от задержки. В модель заложены убытки от простоя воздушного судна за час простоя. Следовательно, чем больше воздушное судно, тем больше убытки от постоянных расходов. Следующая группа убытков – расходы на обслуживание задержанных пассажиров – расходы на питание после четырёх часов задержки, на размещение в го-

станице после шести часов задержки. Будем исходить из того, что компенсация пассажирам 0,25 МРОТ за каждый час задержки – это 25 рублей. Размер МРОТ рассчитывается исходя из федерального закона («Исчисление платежей по гражданско-правовым обязательствам, установленных в зависимости от минимального размера оплаты труда, производится с 1 июля 2000 года по 31 декабря 2000 года, исходя из базовой суммы, равной 83 рублям 49 копейкам, с 1 января 2001 года исходя из базовой суммы, равной 100 рублям»⁹).

Модель выполнена в виде электронной таблицы, в которой каждое решение просчитывается и оценивается суммой убытков, что позволяет проверить стоимость принимаемых решений сравнить результаты и выбрать возможный вариант очередности отправления рейсов.

В табл. 2 видно, что утром следующих суток с 06:30 отправляются регулярные рейсы, но в эти часы отправлены ещё не все задержанные рейсы прошедших суток. Исследователю предстоит ещё решить задачу, что делать с отправлением этих рейсов. В случае их задержки появятся новые убытки уже от задержки этих рейсов. Но с другой стороны выпуск рейсов по расписанию увеличит время задержки рейсов прошлых суток. Исследователь может получить результат в виде оценки убытков при выпуске рейсов текущих суток по расписанию, их задержки для выпуска рейсов предыдущих суток или чередовании рейсов – рейс текущих суток, рейс прошлых суток.

Общая сумма убытков определяется формулой:

$$Y = PBC_{(t)} + PP_{(t)} + PG_{(t)} + KP_{(t)}, \quad (1)$$

где Y – сумма убытков задержанного рейса;

⁹ Федеральный закон от 19.06.2000 г. № 82-ФЗ (ред. от 19.12.2022 г.) «О минимальном размере оплаты труда. Статья 5. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27572/5bdc78bf7e3015a0ea0c0ea5bef708a6c79e2f0a/#dst100019. Доступ 13.01.2023.

Рис. 2. Очередь отправления по алгоритму «первый пришёл – первый ушёл» [выполнено автором].

Рис. 3. Очередь отправления по алгоритму «последний пришёл – первый ушёл» [выполнено автором].

Рис. 4. Очередь на вылет с минимизацией убытков от задержки [выполнено автором].

ПВС – убытки от простоя воздушного судна;

РП – расходы на питание пассажиров;

РГ – расходы на размещение пассажиров в гостинице;

$KP_{(t)}$ – компенсация пассажирам за задержку рейса.

Как видно из формулы 1, все составляющие убытков зависят от времени задержки.

При этом $T_{(ПВС)} = Tз$; $T_{(РП)} = Tз - 4$; $T_{(РГ)} = Tз - 6$; $T_{(КП)} = Tз$, где $Tз$ – время задержки (час). $Tз = Tф - Tр$, (2)

где $Tф$ – фактическое время вылета ВС;

$Tр$ – время вылета по расписанию.

Далее рассмотрим результаты построения очереди на вылет по условию «последним пришёл – первым ушёл» и вариант, в котором



очередь на вылет будет построена с условием минимизации убытков от задержки.

Варианты построения очереди на вылет на рис. 2 и 3 не устанавливают дополнительного условия $Y = F(t) \rightarrow \min$. Вариант очереди на рис. 4 устанавливает это условие. Задача исследователя предложить несколько вариантов расстановки рейсов и выбрать из них наименее убыточный.

ВЫВОДЫ

Приведённые примеры показывают, что использование модели позволяет имитировать процесс управления сбойной ситуацией. Помимо приведённых в качестве примера решений можно построить и другие варианты очередей на вылет воздушных судов. Модель позволяет менять параметры, формирующие состав и величины убытков от задержки. Примеры построения очереди показывают, что возможно построение очереди рейсов на вылет с наименьшими убытками от задержки. Назначение модели показать возможности имитационного моделирования для решения производственных задач, связанных с принятием управленческих решений. Модель может быть использована для обучения специалистов системы воздушного транспорта и как основа модуля корпоративной информационной системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наумова Д. А., Методика оценки регулярности полетов авиакомпаний // Научный вестник МГТУ ГА 2012 г. – 4 с. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-otsenki-regulyarnosti-poletov-aviakompaniy/viewer>. Доступ 13.01.2023.
2. Ionescu, L., Gwiggner, C., Kliever, N. Data Analysis of Delays in Airline Networks. Development of Business and Information Systems, April 2016, Vol. 58 (2), pp. 119–133. DOI: 10.1007/s12599-015-0391-3. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/284725513_Data_Analysis_of_Delays_in_Airline_Networks. Доступ 13.01.2023.
3. Santos, B. F., Wormer, M. M. E. C., Achola, Th. A. O., Curran, R. Airline delay management problem with airport capacity constraints and priority decisions. Journal of Air Transport Management, 2017, Vol. 63. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/305737266_Airline_delay_management_problem_with_airport_capacity_constraints_and_priority_decisions. Доступ 13.01.2023.

4. Bubalo, B. Airport Punctuality, Congestion and Delay: The Scope for Benchmarking. German Airport Performance (GAP) Project c/o Berlin School of Economics and Law, Berlin, Germany, 2011. [Электронный ресурс]: http://www.gaprojekt.de/downloads/gap_papers/airportpunctuality.pdf. Доступ 13.01.2023.

5. Hajkoa, J., Badánik, B. Airline on-time performance management. 9th International Conference on Air Transport – INAIR 2020, Challenges of Aviation Development. Transportation Research Procedia, 2020, Vol. 51 (2), pp. 82–97. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.11.011. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/347360260_Airline_on-time_performance_management. Доступ 13.01.2023.

6. Allan, S. S., Beesley, J. A., Evans, J. E., Gaddy, S. G. Analysis of Delay Causality at Newark International Airport. Lincoln Laboratory Massachusetts Institute of Technology Lexington, Massachusetts, U.S.A., 2001. [Электронный ресурс]: https://archive.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Allan_2001_ATM_MS-14812_WW-10283.pdf. Доступ 13.01.2023.

7. Meysam Kazemi Asfe, Majid Jangi Zehi, Mohammad Nabi Shahiki Tash, Noor Mohammad Yaghoubi. Ranking different factors influencing flight delay. Management Science Letters, 2014, Vol. 4 (7), pp. 1397–1400. [Электронный ресурс]: <http://growingscience.com/beta/msl/1579-ranking-different-factors-influencing-flight-delay.html>. Доступ 13.01.2023.

8. Mueller, E., Chatterji, G. Analysis of Aircraft Arrival and Departure Delay Characteristics. AIAA's Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO) 2002 Technical Forum, Los Angeles, California, 01–03 October 2002. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2002-5866>. [Электронный ресурс]: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2002-5866>. Доступ 13.01.2023.

9. Shaowu Cheng, Yaping Zhang, Siqi Hao, Ruiwei Liu, Xiao Luo, Qian Luo. Study of Flight Departure Delay and Causal Factor Using Spatial Analysis. Journal of Advanced Transportation, 2019, Volume 2019, Article ID 3525912. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3525912>. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2019/3525912/>. Доступ 13.01.2023.

10. Zámková, M., Prokop, M., Stolin, R. Factors influencing flight delays of a european airline. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis, 2017, Vol. 65, No. 5, pp. 1799–1807. DOI: 10.11118/actaun201765051799/. [Электронный ресурс]: http://acta.mendelu.cz/artkey/actu-201705-0037_factors-influencing-flight-delays-of-a-european-airline.php. Доступ 13.01.2023.

11. Vaze, V. Simulating Airport Delays and Implications for Demand Management. December 7, 2009. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/265031415_Simulating_Airport_Delays_and_Implications_for_Demand_Management. Доступ 13.01.2023.

12. Головченко Г. В. Методы ресурсно-временной оптимизации процесса оперативного управления аэропортом в сбойных ситуациях // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Санкт-Петербург, 2018. [Электронный ресурс]: <https://spbguga.ru/files/2018/Dissovet/Golovchenko/Avtoreferat.pdf>. Доступ 13.01.2023. ●

Информация об авторе:

Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 03.03.2023.



Адекватность гравитационной модели для железнодорожных пассажиропотоков



Александр МАРТЫНЕНКО



Денис САЙФУТДИНОВ

*Александр Валериевич Мартыненко¹,
Денис Жавдатович Сайфутдинов²*

*^{1,2} Уральский государственный университет путей
сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия.*

*¹ Центр развития и размещения производительных
сил Института экономики Уральского отделения
Российской академии наук (ИЭ УрО РАН),
Екатеринбург, Россия.*

✉ ² denssovv@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Необходимой предпосылкой успешного планирования развития транспортной системы является как можно более точное моделирование пространственного распределения пассажиропотоков, на основании которого рассчитывается прогнозная матрица корреспонденций. Одним из основных методов моделирования является подход, основанный на использовании гравитационной модели.

В настоящей работе исследуется вопрос об адекватности гравитационной модели с двойным ограничением и показательной-степенной функцией тяготения. Именно такая спецификация модели и её частные случаи с показательной и степенной функциями тяготения наиболее часто применяются для оценки пространственного распределения пассажиропотоков как в теоретических, так и в прикладных исследованиях.

В статье показана калибровка и валидация указанной модели на наблюдаемой (фактической) матрице пассажирских железнодорожных корреспонденций, для формирования которой были использованы данные из АБД АСУ «Экспресс»: количество проданных билетов на поезд дальнего следования для всех пар станций, между которыми существует прямое железнодорожное сообщение.

Ключевые слова: железнодорожное пассажирское сообщение, гравитационная модель, матрица корреспонденций, калибровка модели, валидация модели, адекватность модели.

Поскольку калибровка гравитационной модели может быть осуществлена разными методами (в зависимости от того, как в модель включена стохастичность, отвечающая за различия между модельными и наблюдаемыми данными), то в работе выполнен детальный анализ наиболее часто встречающихся методов калибровки гравитационной модели и в результате был выбран подход, основанный на методе максимального правдоподобия. Также в работе проанализирован инструментальный валидационный гравитационной модели, используемый для оценки близости между наблюдаемой и модельной матрицами корреспонденций.

В результате сравнения модельной и наблюдаемой матриц корреспонденций установлено, что рассматриваемая гравитационная модель с высокой степенью точности прогнозирует агрегированные показатели: общий пассажирооборот, среднюю дальность поездки и распределение дальности поездок. В то же время показано, что погрешность прогноза пассажиропотока для большинства отдельных корреспонденций достаточно велика. Это обстоятельство существенно снижает возможность практического применения гравитационной модели для анализа и моделирования пассажиропотоков в железнодорожном пассажирском сообщении дальнего следования.

Финансирование: статья подготовлена в соответствии с планом НИР УрГУПС.

Для цитирования: Мартыненко А. В., Сайфутдинов Д. Ж. Адекватность гравитационной модели для железнодорожных пассажиропотоков // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 75–86. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-9>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В России доминирующее положение в общей структуре междугородних пассажирских перевозок занимает автомобильный и железнодорожный транспорт. При этом основной объём пассажирских перевозок протяжённостью до 300 км приходится на автобусные и пригородные железнодорожные маршруты. Однако для поездов на расстояния от 300 км до 1000 км основную роль играет железнодорожное сообщение дальнего следования (для более протяжённых маршрутов основное значение имеет авиасообщение). Именно железнодорожный транспорт в значительной мере обеспечивает связанность (в том числе социальную) территории Российской Федерации и межрегиональную транспортную доступность, улучшение которых обозначено в качестве приоритетных целей развития транспортной системы¹.

Необходимой предпосылкой успешного планирования развития транспортной системы является как можно более точное моделирование пространственного распределения пассажиропотоков, на основании которого рассчитывается прогнозная матрица корреспонденций (МК). Для моделирования используются два основных метода: энтропийный и гравитационный. Первый из них основывается на предположении о том, что транспортная система, рассматриваемая как система передвижения индивидуумов, является замкнутой и стремится достичь равновесного состояния, соответствующего максимуму энтропии². Подробное изложение этого метода можно найти, например, в монографии [1].

Второй метод основывается на аналогии с законом тяготения Ньютона. При таком подходе предполагают, что пассажиропоток зависит от размера пунктов отправления и прибытия и расстояния между ними, причём между близкими и большими пунктами пассажиропоток больше, чем

между малыми и далекими. Конкретный вид такой зависимости определяется моделируемой системой и дополнительными ограничениями.

Первые попытки использования гравитационной модели для описания пространственного распределения различных видов экономического и социального взаимодействия были предприняты в 30-е годы прошлого века [2], а возможно и раньше [3]. Однако широкое распространение эта модель получила в 50-е годы XX века [4] и с тех пор активно используется для моделирования транспортных, торговых, финансовых, миграционных потоков и тому подобных (примеры использования гравитационной модели в нетранспортной сфере и ссылки на соответствующую литературу можно найти, например, в статье одного из авторов [5]).

В 60-е, 70-е годы прошлого века усилиями ряда учёных были детально изучены математические свойства гравитационной модели. В частности, в работах [6–9] были предложены и строго обоснованы методы калибровки модели на основе эмпирических данных. Достаточно полное изложение этих и других теоретических вопросов содержится в обзорной статье [3] и монографии [10]. Также в этот период начинается применение гравитационной модели для прогнозирования пространственного распределения пассажиропотоков конкретных городов и территорий при разработке планов развития транспортной инфраструктуры [11]. Однако в те годы практическое использование гравитационной модели носило достаточно ограниченный характер, поскольку сбор эмпирических данных, необходимых для калибровки модели, осуществлялся путём опросов и непосредственных наблюдений. Это требовало привлечения большого количества учётников и, соответственно, значительных затрат.

Ситуация с доступностью данных стала меняться с конца 90-х годов в связи с развитием информационных технологий. Широкое внедрение систем видеонаблюдения на дорогах, использование безналичных платежей, появление смартфонов с геопозиционированием и другие подобные технологии позволили получать достаточно полную и надёжную информацию о транспортных потоках.

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOO pQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>. Доступ 22.12.2022.

² Гасников А. В., Клёнов С. Л., Нурминский Е. А. [и др.] Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с. ISBN 978-5-7417-0334-2.

По мере роста доступности таких данных значительно увеличилось количество работ, направленных на проверку адекватности гравитационной модели для моделирования пространственного распределения пассажиропотоков для различных территорий и систем транспорта. Результаты подобного рода можно найти в [12–19] и многих других работах. В частности, в [12] показано, что гравитационная модель достаточно хорошо описывает пространственное распределение пассажирских авиаперевозок в странах центральной Европы.

В статье [13] используются данные о ежедневных трудовых корреспонденциях в шести странах для проверки адекватности различных модификаций гравитационной модели. Кроме прочего, в этой работе показано, что для таких данных гравитационная модель даёт достаточно хороший прогноз для малых и средних расстояний, однако для больших расстояний точность прогноза существенно снижается. Данные по трудовым корреспонденциям используются также в [14] для оценки возможности использования гравитационной модели, калибровка которой выполнена на данных одного региона, для прогнозирования корреспонденций в другом регионе. В работе [15] валидация гравитационной модели осуществлялась на основе данных о совершаемых карпулинговых поездках в одном из регионов России.

В [16] гравитационная модель проверяется для грузовых железнодорожных потоков между провинциями Китая. Для пассажирских перевозок по железной дороге аналогичное исследование содержит статья [19]. В этой работе, на основе данных об объёмах пассажирских перевозок на одной из линий испанской железной дороги, авторы показали, что гравитационная модель гораздо лучше аппроксимирует наблюдаемые данные, чем регрессия Пуассона.

Проверка адекватности гравитационной модели для конкретных транспортных систем, территорий и видов транспорта необходима для обоснования правомерности использования гравитационной модели для решения прикладных задач. С практической точки зрения, гравитационная модель является составной частью четырёхшаговой транспортной модели [1], которая

активно используется при принятии управленческих решений по развитию транспортной инфраструктуры^{3,4} и реализована во всех современных программах для транспортного моделирования (PTV Visum, TransNet и другие).

Гравитационная модель может быть использована в четырёхшаговой модели на втором шаге для расчёта общей МК (для всех видов транспорта), после чего на третьем шаге для каждой корреспонденции рассчитывается расщепление пассажиропотока по различным видам транспорта. Также гравитационная модель может быть использована в виде так называемой синтетической гравитационной модели для одновременного расчёта МК и расщепления по видам транспорта (то есть второй и третий шаги объединяются). В этом случае гравитационная модель используется для расчёта МК по каждому виду транспорта в отдельности. Соответственно, практически значимые результаты могут быть получены только в том случае, если гравитационная модель адекватно описывает пространственное распределение пассажиропотоков для каждого вида транспорта в отдельности.

В частности, при создании транспортной модели в масштабах всей страны это касается и железнодорожного сообщения дальнего следования. Поэтому основная цель данной работы заключается в проверке адекватности гравитационной модели для моделирования пространственного распределения пассажиропотоков в железнодорожном сообщении дальнего следования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гравитационная модель

Пусть пассажиры совершают поездки из пунктов отправления $i = 1, 2, \dots, I$ в пункты прибытия $j = 1, 2, \dots, J$ и известна c_{ij} – обоб-

³ Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях // ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта». – М., 2017. [Электронный ресурс]: <https://e-ecolog.ru/docs/zZ77TAN6o8PnTZ7JAQq12/>. Доступ 22.12.2022.

⁴ СТО АВТОДОР 2.2-2013. Проектирование, строительство, эксплуатация автомобильных дорог. Рекомендации по прогнозированию интенсивности дорожного движения на платных участках автомобильных дорог государственной компании «Автодор» и доходов от их эксплуатации. – М.: Стандарт Государственной компании «Автодор», 2013. [Электронный ресурс]: <https://studylib.ru/doc/2002300/rekomendacii-po-prognozirovaniyu-intensivnosti-dorozhnoho/>. Доступ 22.12.2022.



щённая стоимость поездки из пункта i в пункт j (обобщённая стоимость – величина, которая включает в себя все временные и финансовые затраты пассажира на поездку). Обозначим через T_{ij} количество поездок из пункта i в пункт j . Очевидно, что T_{ij} зависит от пункта отправления i , пункта прибытия j и величины c_{ij} . Одной из наиболее простых форм такой зависимости является соотношение вида:

$$T_{ij} = a_i b_j f(c_{ij}), \quad (1)$$

где a_i и b_j – некоторые количественные характеристики пунктов отправления и прибытия;

$f(c)$ – неотрицательная функция, которая определена при всех $c \geq 0$.

Если функция $f(c)$ является убывающей, а характеристики a_i и b_j интерпретировать как размеры точек зарождения и поглощения пассажиропотоков в соответствующих пунктах, то зависимость (1) представляет собой математическую реализацию эмпирического правила «большие и близкие объекты взаимодействуют сильнее, чем маленькие и далекие». В силу сходства с законом всемирного тяготения Ньютона, зависимость (1) называется гравитационной моделью.

Пусть s_i – количество отправок из пункта i (во все пункты прибытия), d_j – количество прибытий в пункт j (из всех пунктов отправления). Тогда из очевидных тождеств $\sum_{j=1}^J T_{ij} = s_i$,

$\sum_{i=1}^I T_{ij} = d_j$, следует, что a_i и b_j должны удовлетворять равенствам

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^J a_i b_j f(c_{ij}) = s_i \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_{i=1}^I a_i b_j f(c_{ij}) = d_j \quad \forall j = 1, \dots, J. \end{cases} \quad (2)-(3)$$

Для заданных s_i и d_j система (2), (3) представляет собой систему уравнений относительно неизвестных a_i и b_j . Если для любого c_{ij} выполнено условие $f(c_{ij}) > 0$ и

$$\sum_{i=1}^I s_i = \sum_{j=1}^J d_j,$$

то система (2), (3) имеет решение [7]. При этом решение не будет единственным (если a_i^* , b_j^* – решение системы (2), (3), то θa_i^* , $\theta^{-1} b_j^*$ также будет решением для любого $\theta > 0$). Однако в [7] показано, что для любых двух различных решений a_i^1 , b_j^1 и a_i^2 , b_j^2 будет справедливо равенство $a_i^1 b_j^1 = a_i^2 b_j^2$ при любых i, j .

Это означает, что T_{ij} не зависит от того, какое именно решение системы (2), (3) будет использовано в (1). Таким образом, гравитационная модель (1) устанавливает взаимно

однозначное соответствие между МК $\{T_{ij}\}$ с одной стороны и парой векторов (a_1, \dots, a_I) , (b_1, \dots, b_J) с другой.

Функция $f(c_{ij})$ называется функцией тяготения. Она показывает «готовность» пассажира совершить поездку в зависимости от размера обобщённой стоимости c_{ij} . В качестве функции тяготения $f(c_{ij})$ часто используют степенную функцию $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-\mu}$, показательную функцию $f(c_{ij}) = \exp(-\mu c_{ij})$ или комбинированную функцию $f(c_{ij}) = c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})$, которую также называют показательно-степенной функцией.

Степенная и показательная функции тяготения монотонно убывают при $c_{ij} > 0$, поэтому для этих функций, чем меньше обобщённая стоимость c_{ij} , тем больше «готовность» пассажира совершить поездку. Во многих случаях это верно, однако в некоторых ситуациях при небольших значениях c_{ij} это может быть не так. Например, для внутригородского общественного транспорта у многих пассажиров «готовность» совершить поездку между соседними остановками ниже, чем на более дальнее расстояние (между двумя соседними остановками такие пассажиры предпочитают передвигаться пешком). Аналогичная ситуация будет справедлива и для железнодорожного транспорта дальнего следования: для поездок на небольшие расстояния пассажиры выбирают пригородные поезда или автобусы. Следовательно, в таких случаях для описания тяготения более адекватной является комбинированная функция, которая в случае $\gamma > 0$ сначала возрастает, а затем убывает. Поэтому далее будем рассматривать (1) с комбинированной функцией тяготения, то есть в виде:

$$T_{ij} = a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}). \quad (4)$$

Калибровка гравитационной модели по наблюдаемой МК

Предположим, что в результате наблюдений получена МК $N = \{n_{ij}\}$, $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$, и рассмотрим задачу оценивания параметров a_i , b_j , γ и μ модели (4) по наблюдаемой матрице N . Очевидно, что способ оценивания зависит от того, как именно будет включена в модель стохастичность, вызывающая отклонение наблюдаемых значений n_{ij} от модельных T_{ij} . Рассмотрим подробно несколько наиболее популярных подходов.

1. Самый простой вариант заключается в предположении, что $n_{ij} = T_{ij} + \varepsilon_{ij}$, где ε_{ij} — случайная величина. В этом случае для оценки параметров модели естественно воспользоваться методом наименьших квадратов (МНК). В результате получим задачу минимизации:

$$S(a_i, b_j, \gamma, \mu) = \sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 = \sum_{i,j} (n_{ij} - a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}))^2 \rightarrow \min,$$

которая в результате применения стандартных методов математического анализа приводит к системе уравнений для определения параметров a_i , b_j , γ и μ :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_i} = 0 \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial S}{\partial b_j} = 0 \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial S}{\partial \mu} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \gamma} = 0. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_i T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0 \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_j T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0 \forall j = 1, \dots, J, \\ \sum_{i,j} C_{ij} T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0, \\ \sum_{i,j} \ln C_{ij} T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Слабым местом такого подхода является то, что для применения МНК необходимы ограничения на ε_{ij} , которые в данном случае, скорее всего не будут выполняться. В частности, ε_{ij} не будет гомоскедастичным (очевидно, что дисперсия ε_{ij} зависит от величины T_{ij}). Также существенным недостатком использования МНК является отсутствие осмысленной интерпретации для уравнений (5).

2. Другой подход, который был впервые строго изложен в [8], основывается на предположении, что для совершения поездки каждый пассажир случайным образом и независимо от других пассажиров выбирает одну корреспонденцию (i, j) из $I \cdot J$ корреспонденций. Причём вероятность p_{ij} выбора корреспонденции (i, j) одинакова для всех пассажиров. При таком подходе T_{ij} интерпретиру-

ется как теоретическая частота выбора корреспонденции (i, j) при $n = \sum_{i,j} n_{ij}$ пассажирах, то есть $T_{ij} = n p_{ij}$. Поэтому гравитационная модель (4) может быть записана в виде:

$$p_{ij} = \frac{1}{n} a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}). \quad (6)$$

Для оценки параметров $a_1, \dots, a_I, b_1, \dots, b_J, \gamma, \mu$ модели (6) на основе наблюдаемой матрицы N используется метод максимального правдоподобия. В данном случае функция правдоподобия будет иметь вид:

$$L = L(a_i, b_j, \gamma, \mu) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J (p_{ij})^{n_{ij}} = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J (n^{-1} a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}))^{n_{ij}}.$$

Логарифмируя функцию L и учитывая, что $n_{ij} \ln n^{-1}$ не зависит от параметров модели, а также то, что вероятности p_{ij} должны удовлетворять условию нормировки $\sum p_{ij} = 1$, приходим к задаче условной оптимизации:

$$\ln L = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} (\ln a_i + \ln b_j + \gamma \ln c_{ij} - \mu c_{ij}) \xrightarrow{a_i, b_j, \gamma, \mu} \max, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) = n.$$

Далее воспользуемся методом множителей Лагранжа. Функция Лагранжа будет иметь вид:

$$F(a_i, b_j, \gamma, \mu, \lambda) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} (\ln a_i + \ln b_j + \gamma \ln c_{ij} - \mu c_{ij}) - \lambda \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) - n \right).$$

Приравнивая частные производные функции F к нулю, получим (7)–(11).

Если каждое из уравнений (7) умножить на a_i и просуммировать по i (или каждое из уравнений (8) умножить на b_j и просуммировать по j), то получим:

$$\lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} = n. \quad (12)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_i} = \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^J n_{ij} - \lambda \sum_{j=1}^J b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) = 0 \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial F}{\partial b_j} = \frac{1}{b_j} \sum_{i=1}^I n_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I a_i c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) = 0 \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial F}{\partial \mu} = - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) (-c_{ij}) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \gamma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) \ln c_{ij} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}) - n = 0. \end{cases} \quad (7)-(11)$$





Отсюда и из (11) следует что $\lambda = 1$. Также (12) означает, что уравнение (11) является следствием каждой из группы уравнений (7) и (8). Поэтому с учётом (4) система уравнений (7)–(11) принимает вид:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^J T_{ij} = \sum_{j=1}^J n_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_{i=1}^I T_{ij} = \sum_{i=1}^I n_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, J, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij}, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \ln c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij}. \end{cases} \quad (13)–(16)$$

Таким образом, оценки параметров $a_1, \dots, a_p, b_1, \dots, b_p, \gamma, \mu$ могут быть найдены из системы уравнений (13)–(16). В отличие от системы (5) здесь все уравнения имеют прозрачную интерпретацию, хорошо соответствующую содержанию гравитационной модели. В частности, уравнение (13) означает, что для каждого пункта i модельное количество отправок (во все пункты прибытия) должно совпадать с наблюдаемым количеством направлений. Аналогично, уравнение (14) означает совпадение соответствующих модельных и наблюдаемых прибытий. Уравнение (15) показывает, что общая модельная стоимость всех поездок должна равняться общей наблюдаемой стоимости всех поездок. Если обе части (15) разделить на $\sum_{i,j} T_{ij} = \sum_{i,j} n_{ij}$,

то его можно интерпретировать как равенство соответствующих средних стоимостей. Последнее уравнение имеет такой же смысл, как и (15), но только для логарифмированной обобщенной стоимости c_{ij} .

3. Ещё один подход для включения стохастичности в гравитационную модель был предложен в [9]. В этой работе количество поездок из пункта i в пункт j является дискретной случайной величиной Θ_{ij} , а задаваемая формулой (4) величина T_{ij} интерпретируется как математическое ожидание величины Θ_{ij} , то есть:

$$M[\Theta_{ij}] = T_{ij} = a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}).$$

Предположим, что величины Θ_{ij} ($i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$) независимы в совокупности и под-

чиняются одному и тому же закону распределения (с разными значениями параметров): $Pr(\Theta_{ij} = k) = \varphi(k, T_{ij}) = \varphi(k, a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}))$.

Тогда для оценки параметров $a_1, \dots, a_p, b_1, \dots, b_p, \gamma, \mu$ на основе наблюдаемой матрицы N воспользуемся методом максимального правдоподобия. В данном случае функция правдоподобия будет иметь вид:

$$L = L(a_i, b_j, \gamma, \mu) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J Pr(\Theta_{ij} = n_{ij}) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J \varphi(n_{ij}, a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})).$$

После логарифмирования функции L , получаем следующую задачу оптимизации:

$$\ln L = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \ln \varphi(n_{ij}, T_{ij}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \ln \varphi(n_{ij}, a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})) \xrightarrow{a_i, b_j, \gamma, \mu} \max.$$

Приравнявая частные производные функции $\ln L$ к нулю, получаем систему уравнений для определения искомым оценок параметров (17)–(20).

Конкретный вид уравнений (17)–(20) зависит от выбора распределения φ . Достаточно часто в качестве φ используют распределение Пуассона:

$$\varphi(T_{ij}, n_{ij}) = \frac{\exp(-T_{ij}) T_{ij}^{n_{ij}}}{n_{ij}!}.$$

Непосредственными вычислениями можно проверить, что в этом случае система (17)–(20) превращается в систему уравнений (13)–(16). Если же в качестве φ взять нормальное распределение:

$$\varphi(T_{ij}, n_{ij}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(T_{ij} - n_{ij})^2}{2\sigma^2}\right),$$

то система (17)–(20) превращается в систему уравнений (5). Причём это будет верно при любом среднем квадратичном отклонении σ .

Таким образом, третий подход к моделированию стохастичности гравитационной модели обобщает первый и второй подходы в том смысле, что он приводит к идентичным

$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial a_i} = \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial b_j} = \frac{1}{b_j} \sum_{i=1}^I T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} = 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} c_{ij} = 0, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \gamma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} \ln c_{ij} = 0. \end{cases} \quad (17)–(20)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij}(\gamma, \mu) c_{ij} &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q(\gamma, \mu) c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij}, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij}(\gamma, \mu) \ln c_{ij} &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q(\gamma, \mu) c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) \ln c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij}. \end{aligned} \right. \quad (21)-(22)$$

системам уравнений для определения оценок параметров модели. При этом необходимо подчеркнуть, что первый и третий подходы моделируют стохастичность фактически одинаковым образом: в первом подходе будет $M[T_{ij}] = M[T_{ij} + \varepsilon_{ij}]$ при достаточно естественном предположении $M[\varepsilon_{ij}] = 0$, то есть в обоих подходах модельное количество корреспонденций интерпретируется как математическое ожидание наблюдаемого количества корреспонденций. Однако второй подход принципиально отличается от них: в нём модельная относительная частота корреспонденций является вероятностью выбора пассажира данной корреспонденции.

Как уже было сказано выше, первый подход и полученные на его основе уравнения (5) редко используются для оценки параметров гравитационной модели и в основном в теоретических исследованиях (один из примеров использования первого подхода для оценки параметров МК на основе энтропийной модели можно найти в [20]), что обусловлено необходимостью накладывать не очень реалистичные ограничения на ε_{ij} . В то же время, уравнения (13)–(16) являются основным инструментом для оценки параметров гравитационной модели как в научных исследованиях, так и при создании транспортных моделей конкретных территорий. Поэтому в настоящей работе для калибровки модели (4) будем использовать систему уравнений (13)–(16). Эта система не имеет аналитического решения, поэтому для ее решения необходимо использовать приближенные методы.

Уравнения (13)–(14) фактически представляют собой систему (2)–(3), где в качестве s_i и d_j используются наблюдаемые количества отправок и прибытий, а значит для них будут справедливы сформулированные выше утверждения о существовании и единственности решения (это ещё раз подчёркивает естественность использования системы (13)–(16) для калибровки модели). Следовательно, для заданных значений γ и μ система (13)–(14) однозначно определяет все произведения a_i , b_j , которые могут быть найдены приближенно с помощью метода простых итераций. Для

этого из уравнений (13) выражаются a_i , а из уравнений (14) выражаются b_j . Затем всем a_i придаются некоторые начальные значения (обычно один) и по ним вычисляются b_j из уравнений (14). По полученным значениям b_j вычисляются a_i из уравнений (14) и так далее. Процесс продолжают до тех пор, пока равенства (13)–(14) не будут выполняться с заданным уровнем точности. Такой алгоритм называют методом Фратора (Fatar) или методом Фернеса (Furness) или бипропорциональным алгоритмом (подробнее см. монографию [21]).

Таким образом, уравнения (13)–(14) задают функцию $q(\gamma, \mu) = a_i(\gamma, \mu) b_j(\gamma, \mu)$. Поэтому (15)–(16) являются уравнениями для γ и μ (21)–(22).

Хотя функция $q(\gamma, \mu)$ является гладкой, её нельзя задать аналитически, более того нам доступны только лишь её приближенные значения. Поэтому для решения системы (21)–(22) удобно перейти к эквивалентной ей задаче оптимизации:

$$\begin{aligned} H(\gamma, \mu) &= H_1(\gamma, \mu) + H_2(\gamma, \mu) = \\ & \left| \sum_{i,j} T_{ij}(\gamma, \mu) c_{ij} - \sum_{i,j} c_{ij} n_{ij} \right| + \\ & + \left| \sum_{i,j} T_{ij}(\gamma, \mu) \ln c_{ij} - \sum_{i,j} n_{ij} \ln c_{ij} \right| \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (23)$$

для решения которой необходимо использовать безградиентные методы оптимизации.

Исходные данные

Для калибровки гравитационной модели в настоящей работе были использованы данные из автоматизированной системы управления АБД АСУ «Экспресс», доступные через АРМ «Корреспонденции и финансовые результаты». Эта система позволяет получить количество проданных билетов на поезда дальнего следования для любой пары станций отправления и прибытия, то есть наблюдаемую МК.

Данные были взяты за один месяц 2019 года, типичный для допандемийного периода⁵. Всего

⁵ Данные были получены непосредственно из АБД АСУ «Экспресс» на основании договора о доступе УрГУПС к системе в 2019 году в исследовательских целях.





Таблица 1

Основные характеристики наблюдаемых МК [рассчитано авторами]

Характеристика	БМК	ММК
Количество городов	98	38
Количество корреспонденций	9604	1444
Количество пассажиров	3743252	2240018
Количество нулевых корреспонденций	6217	616
Количество корреспонденций, у которых меньше 10 пассажиров	6504	622
Максимальное количество пассажиров для одной корреспонденции	30006	30006
Среднее число пассажиров по всем корреспонденциям	390	1551
Среднее число пассажиров по всем ненулевым корреспонденциям	1105	2705
Медианное число пассажиров по всем корреспонденциям	0	134
Медианное число пассажиров по всем ненулевым корреспонденциям	157	835
Пассажиरोоборот, тыс. чел.-км.	4563511	3009016
Средняя дальность поездки, км	1219,13	1348,3

Таблица 2

Результаты калибровки гравитационной модели [рассчитано авторами]

Величина	БМК	ММК
Параметр γ	0,3611	0,6616
Параметр μ	1,1515	1,3093
Минимизируемая функция $H(\gamma, \mu)$	365,1	32,7
Абсолютное отклонение пассажиरोоборота $H_1(\gamma, \mu)$	199,7	18,29
Абсолютное отклонение пассажирооборота для лограсстояния $H_2(\gamma, \mu)$	165,4	14,44
Относительное отклонение пассажирооборота $H_1(\gamma, \mu) / \sum c_{ij} n_{ij}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$
Относительное отклонение пассажирооборота для лограсстояния $H_2(\gamma, \mu) / \sum n_{ij} \ln c_{ij}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$

в АСУ содержится информация почти о 37 тыс. станций. Но подавляющее большинство станций генерируют незначительный пассажиропоток. Для 35 тыс. станций количество отправленных и прибывших пассажиров (для всех направлений) составляет всего несколько человек в месяц. Ещё для 1000 станций отправления (прибытия) составляют не более 500 пассажиров в месяц, то есть менее 20 человек в день. Поэтому для расчётов параметров гравитационной модели не имеет смысла использовать все станции. Также необходимо иметь в виду, что в одном городе может находиться несколько железнодорожных станций, поэтому их пассажиропотоки необходимо объединить и рассматривать МК не по станциям, а по городам.

Чтобы сравнить качество аппроксимации для наблюдаемых МК разных размеров, калибровку модели будем осуществлять на двух наборах данных: МК для городов, у каждого из которых суммарно более 20 тыс. отправлений и прибытий, а также МК для городов, у каждого из которых суммарно более 50 тыс. отправлений и прибытий. Для краткости, первую из них будем называть большой МК (БМК), а вторую малой МК (ММК). Статистика этих МК представлена в табл. 1.

Отметим, что в рассматриваемых МК достаточно большое количество нулевых корреспонденций (см. табл. 1). В частности, потому что, между многими городами отсутствует прямое пассажирское сообщение. Пункты отправления и прибытия ММК, а также все её корреспонденции объёмом более 5000 пассажиров представлены на рис. 1.

Также визуализация наблюдаемых данных для случая ММК представлена на рис. 2. Здесь хорошо видна высокая степень неоднородности в распределении пассажиров по корреспонденциям: подавляющее большинство городов имеют значительные пассажиропотоки для небольшого числа корреспонденций (от 1 до 4) и только для нескольких городов распределение пассажиров по корреспонденциям выглядит равномерно.

В качестве обобщённой стоимости c_{ij} в гравитационной модели будем использовать тарифное расстояние между станциями. Если между станциями i и j отсутствует прямое пассажирское сообщение, то принимаем $c_{ij} = \infty$. Также поступаем для диагональных элементов МК, то есть $c_{ij} = \infty$ для любого i . При расчётах в качестве ∞ используется достаточно большое число.

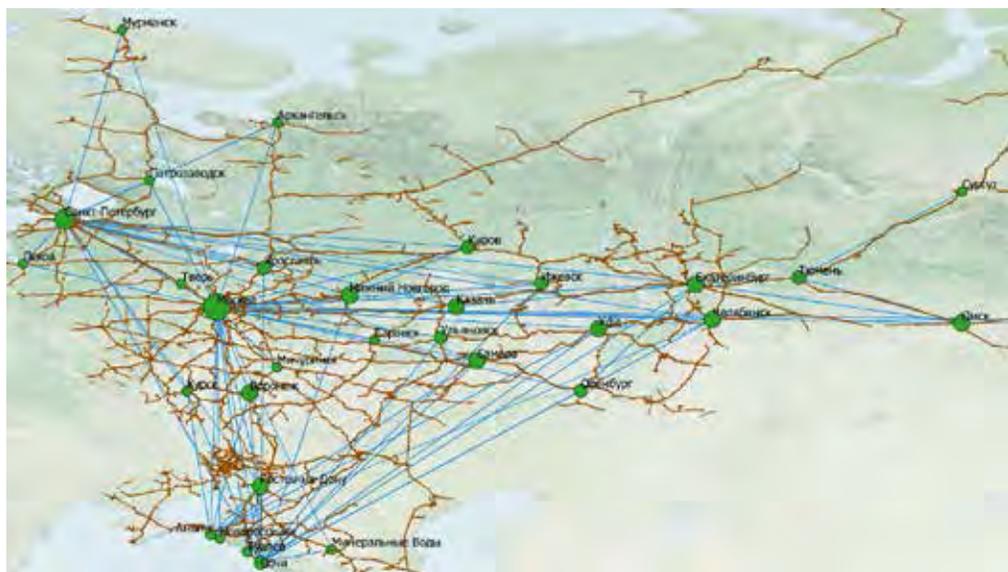


Рис. 1. Корреспонденции ММК объемом более 5000 пассажиров [построено авторами].

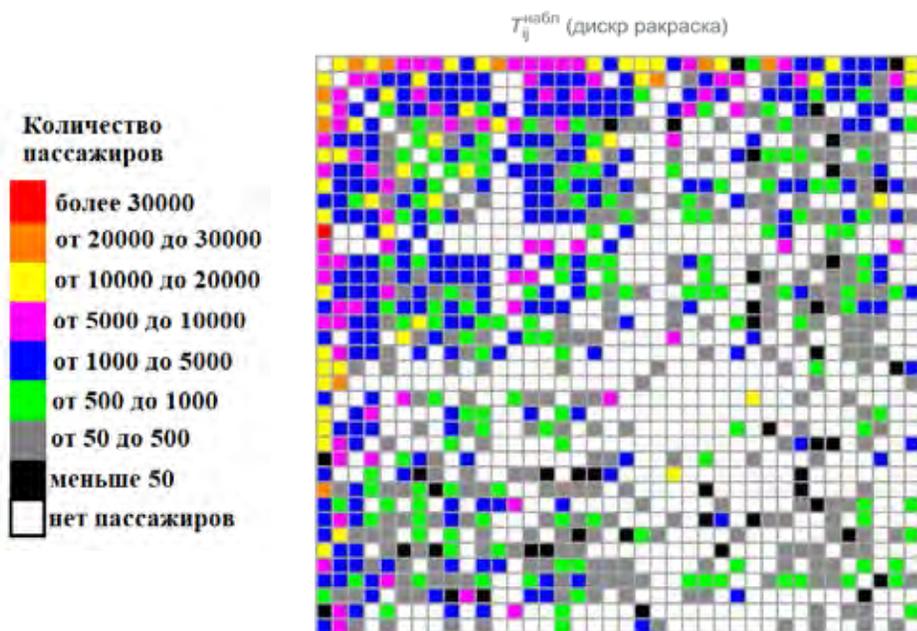


Рис. 2. Визуализация ММК [построено авторами].

Для такого выбора c_{ij} левая и правая части уравнения (21) представляют собой модельный и наблюдаемый пассажирооборот соответственно, а минимизируемая функция $H_1(\gamma, \mu)$ равна абсолютному отклонению модельного пассажирооборота от наблюдаемого. Если обе части уравнения (21) разделить на $\sum_{i,j} T_{ij} = \sum_{i,j} n_{ij}$, то получим модельную и наблюдаемую средние дальности поездок (СДП). Аналогичным образом можно интерпретировать и уравнение (22) для логарифмированного расстояния (лограсстояния).

Таким образом, калибровка гравитационной модели сводится к подбору таких значений параметров γ и μ , при которых модельный пассажирооборот совпадает с наблюдаемым.

Также отметим, что параметры γ и μ нелинейно зависят от выбора единицы измерения c_{ij} . В частности, если c_{ij} измерять в километрах, то при характерных для российской железнодорожной сети расстояниях в несколько тысяч километров, значения γ и μ могут оказаться меньше машинного нуля. Поэтому значения c_{ij} будем задавать в тыс. км.



Меры близости между модельной и наблюдаемой МК [рассчитано авторами]

Мера близости матриц	БМК	ММК
Средняя абсолютная ошибка $MAE = \sum_{i,j} |n_{ij} - T_{ij}| / (I \cdot J)$	242	886
Абсолютная ошибка, усреднённая по пассажирам $MAE_p = \sum_{i,j} |n_{ij} - T_{ij}| / \sum_{i,j} n_{ij}$	0,62	0,57
Стандартное отклонение $S = \left(\sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 / (I \cdot J - 1) \right)^{1/2}$	1152	2337
Коэффициент корреляции $r = cov(n_{ij}, T_{ij}) / (\sigma(n_{ij}) \sigma(T_{ij}))$	0,77	0,78
Коэффициент корреляции r только для $n_{ij} > 0$	0,75	0,75
Коэффициент детерминации $R^2 = 1 - \sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 / \sum_{i,j} (n_{ij} - \bar{n}_{ij})^2$	0,55	0,59
Коэффициент детерминации R^2 только для $n_{ij} > 0$	0,51	0,53

Результаты моделирования

Для минимизации функции (23) был использован метод Нелдера–Мида. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Как видно из таблицы, в обоих случаях калибровка модели выполнена с достаточно высокой точностью. В частности, модельный пассажирооборот равен наблюдаемому с относительной погрешностью менее 0,01 %.

Для валидации гравитационной модели оценивают близость между наблюдаемой и модельной МК, а также сравнивают модельное и наблюдаемое распределения дальности поездок (такой подход доступен и в ситуациях, когда наблюдаемая МК неизвестна, а распределение дальности поездок получают с помощью опросов). При этом могут возникнуть определённые сложности в использовании стандартных инструментов сравнения и интерпретации получаемых результатов (см. [22–24] и, особенно, [25]). В частности, ис-

пользование критерия хи-квадрат для сравнения МК (и распределений дальности поездки) почти всегда приводит к отклонению гипотезы о совпадении модельных и наблюдаемых частот, что связано с разреженностью наблюдаемой МК и очень высокой чувствительностью этого критерия для выборок большого размера. Аналогичные сложности возникают и при использовании других критериев согласия.

Использовать в качестве мер близости такие показатели как коэффициент корреляции, коэффициент детерминации и им подобные также нужно крайне осторожно из-за сильной нелинейности (при близких значениях этих показателей качества моделей может существенно отличаться [22; 25]). Для преодоления сложностей, связанных с нелинейностью, разработаны относительные информационные критерии, которые зависят от ошибок «почти линейно» и поэтому позволя-

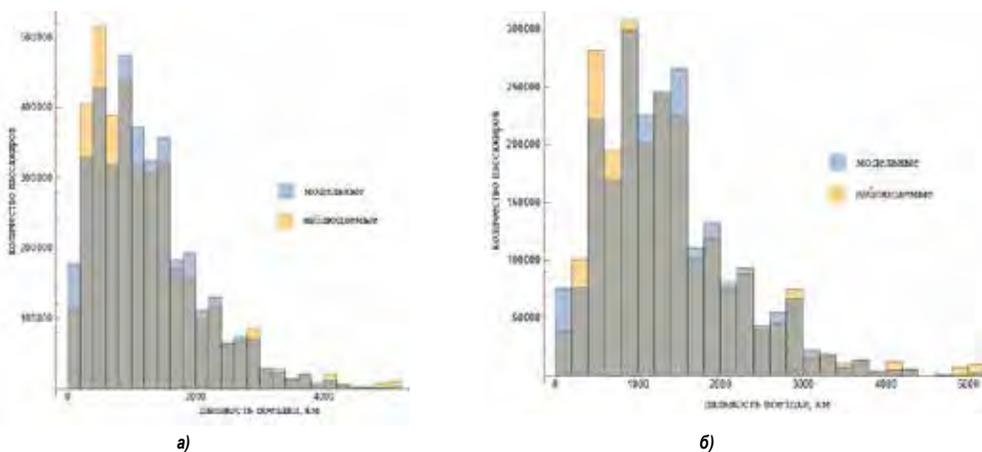


Рис. 3. Сравнение модельного и наблюдаемого распределения дальности поездки для: а) БМК; б) ММК [построено авторами].

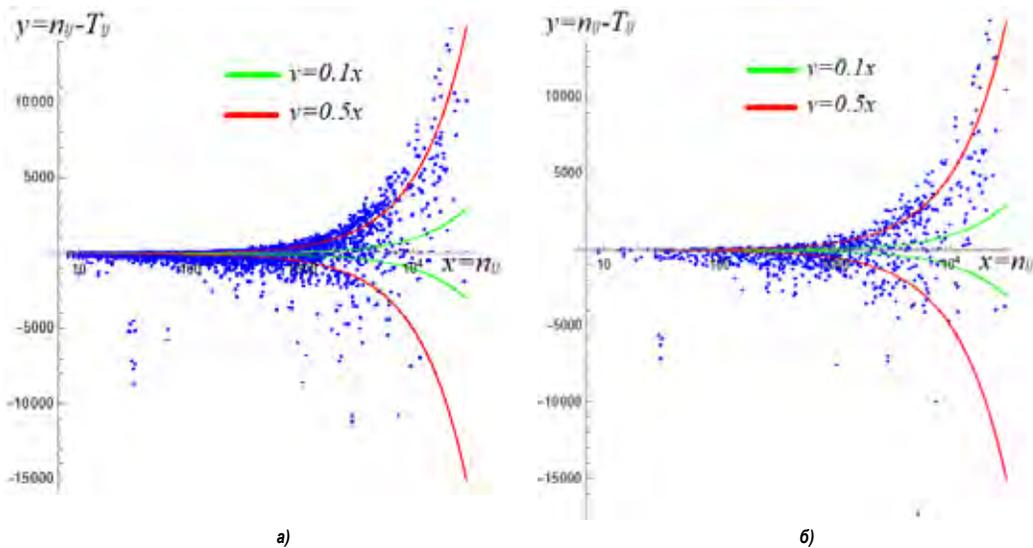


Рис. 4. Отклонения модели для: а) БМК; б) ММК (на горизонтальной оси используется логарифмический масштаб [построено авторами]).

ют эффективно сравнивать разные модели [25]. Если же стоит задача проверки адекватности одной модели, то здесь необходимо исходить из содержательной постановки конкретной задачи и использовать легко интерпретируемые меры близости типа средней абсолютной ошибки и другие.

В нашем случае распределение дальности поездок для наблюдаемых и модельных матриц представлены на рис. 3. Здесь модельные значения достаточно хорошо согласуются с наблюдаемыми: суммарное отклонение по всем интервалам составляет 14 % и для ММК, и для БМК, то есть только 14 % пассажиров, предсказанных моделью, будут совершать поездки на расстояния, отличные от наблюдаемых. Попутно отметим, что, как и указывалось выше, формальное применение критерия хи-квадрат приводит к выводу о различии модельных и наблюдаемых частот: для ММК и БМК значения критерия составляют $\chi^2_{\text{набл}} = 150031$ и $\chi^2_{\text{набл}} = 149143$ соответственно.

Количественные оценки близости матриц представлены в табл. 3. Здесь сразу можно отметить, что за исключением МАЕ и S, все показатели практически совпадают для БМК и ММК. Сильные отличия МАЕ и S обусловлены тем, что по количеству корреспонденций БМК и ММК отличаются гораздо сильнее, чем по количеству пассажиров.

Полученные значения показателей МАЕ, МАЕ_p и S в табл. 3 говорят о низком уровне соответствия между наблюдаемыми и модельными значениями. В частности, значение

МАЕ составляет более 50 % от среднего и медианного количества пассажиров (см. табл. 1), а МАЕ_p показывает такие же значения относительно одного пассажира. Коэффициенты корреляции и детерминации показывают более высокий уровень соответствия, но, как уже отмечалось, в данной ситуации это имеет второстепенное значение.

К окончательным выводам относительно качества полученной модели позволяет прийти рис. 4. На рисунке вместе с остатками модели построены прямые $y = 0,1x$ и $y = 0,5x$ (в логарифмическом масштабе по оси x), которые выделяют 10 % и 50 % отклонения модели для корреспонденций. На рисунке видно, что точных прогнозов (с отклонением менее 10 %) мало, а неточных (с отклонением более 50 %) – много. Причём это верно для корреспонденций с любым объёмом пассажиров. Таким образом, для прогнозирования пассажиропотоков на отдельных корреспонденциях гравитационную модель использовать нельзя.

ВЫВОДЫ

Проверка адекватности гравитационной модели с двойным ограничением и показательной функцией тяготения для моделирования матрицы корреспонденций железнодорожного сообщения дальнего следования показывает, что:

1) Модель с высокой точностью прогнозирует такие агрегированные характеристики пространственного распределения пассажи-



ропотоков, как средняя дальность поездки, общий пассажирооборот и распределение дальности поездок.

2) Точность модели для прогнозирования пассажиропотоков отдельных корреспонденций является достаточно низкой.

Таким образом, модель может быть использована для прогнозирования распределения дальности поездок, но для прогноза объёмов отдельных корреспонденций её использовать нельзя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ortúzar, J. de D., Willumsen, L. G. Modelling Transport. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2011, 608 p. ISBN 1119993520, 9781119993520.
2. Reilly, W. J. The law of retail gravitation. New York: Knickerbocker Press, 1931. Corpus ID: 117983034.
3. Hua, C., Porell, F. A Critical Review of the Development of the Gravity Model. International Regional Science Review, 1979, Vol. 4 (2), pp. 97–126. DOI: 10.1177/016001767900400201.
4. Изард У. Методы регионального анализа: введение в науку о регионах / Пер. с англ. В. М. Хомана, Ю. Г. Липецца, С. Н. Тарера. – М.: Прогресс, 1966. – 660 с. [Электронный ресурс]: <https://libcats.org/book/671460/>. Доступ 13.01.2023.
5. Мартыненко А. В. Модификация гравитационной модели Андерсона и ван Винкоопа для анализа торговли между Россией и Беларусью // AlterEconomics. – 2022. – Т. 19. – № 2. – С. 326–350. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-2.7.
6. Hyman, G. M. The calibration of trip distribution models. Environment and Planning A: Economy and Space, 1969, Vol. 1 (1), pp. 105–112. DOI: 10.1068/a010105.
7. Evans, A. W. Some properties of trip distribution methods. Transportation Research, 1970, Vol. 4, pp. 19–36. DOI: 10.1016/0041-1647(70)90072-9.
8. Evans, A. W. The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions. Transportation Research, 1971, Vol. 5 (1), pp. 15–38. DOI: 10.1016/0041-1647(71)90004-9.
9. Kirby, H. R. Theoretical Requirements for Calibrating Gravity Models. Transportation Research, 1974, Vol. 8, Iss. 2, pp. 97–104. DOI: 10.1016/0041-1647(74)90036-7.
10. Erlander, S., Stewart, N. F. The gravity model in transportation analysis: theory and extensions. CRC Press, 1st edition, 1990, 226 p. ISBN-10 9067640891; ISBN-13 978-9067640893.
11. Wells, G. Traffic Engineering: An Introduction. Charles Griffith, London, 1979. 2nd ed. ISBN 978-0852642542.
12. Grosche, T., Franz Rothlauf, F., Heinzl, A. Gravity models for airline passenger volume estimation. Journal of Air Transport Management, 2007, Vol. 13, Iss. 4, pp. 175–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.02.001>.

13. Lenormand, M., Bassolas, A., Ramasco, J. J. Systematic comparison of trip distribution laws and models. Journal of Transport Geography, 2016, Vol. 51, pp. 158–169. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.12.008.

14. McArthur, D. P., Kleppe, G., Thorsen, I., Ubøe, J. The spatial transferability of parameters in a gravity model of commuting flows. Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration, Discussion Papers, 2011, Vol. 19 (4), 27 p. DOI: 10.2139/ssrn.1612164.

15. Мартыненко А. В., Филиппова Е. Г. Моделирование пространственного распределения междугородных автомобильных поездок на основе данных сервисов карпулинга // Транспорт Урала. – 2021. – № 3 (70). – С. 33–38. DOI: 10.20291/1815-9400-2021-3-33-38.

16. Chen, Yanguang. The distance-decay function of geographical gravity model: Power law or exponential law? Chaos, Solitons & Fractals, 2015, Vol. 77, pp. 174–189. DOI: 10.1016/j.chaos.2015.05.022.

17. Cordera, R., Sañudo, R., dell'Olio, L., Ibeas, Á. Trip distribution model for regional railway services considering spatial effects between stations. Transport Policy, 2018, Vol. 67 (C), pp. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.01.016>.

18. Abdel-Aal, Mounir. Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria. Alexandria Engineering Journal, 2014, Vol. 53, Iss. 3, pp. 677–689. DOI: 10.1016/j.aej.2014.04.006.

19. Timofeeva, G., Ie, O. Evaluation of origin-destination matrices based on analysis of data on transport passenger flows. Applications of Mathematics in Engineering and Economics, AMEE 2020: Proceedings of the 46th International Conference, Sofia, American Institute of Physics Inc., 2020, Vol. 2333, 100002. DOI: 10.1063/5.0041801.

20. Иванова А. С., Омельченко С. С., Коглярова Е. В., Матюхин В. В. Калибровка параметров модели расчёта матрицы корреспонденций для г. Москвы // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12. – Вып. 5. – С. 961–978. DOI: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2020-12-5-961-978>.

21. Ortúzar, J. D., Willumsen, G. L. Modelling transport. New Delhi, 2011, 608 p. ISBN 9781119993537.

22. Black, W. R. A note on the use of correlation coefficients for assessing goodness-of-fit in spatial interaction models. Transportation, 1991, Vol. 18, pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00172935>.

23. Wilson, S. R. Statistical notes on the evaluation of calibrated gravity models. Transportation Research, 1976, Vol. 10, Iss. 5, pp. 343–345. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(76\)90114-3](https://doi.org/10.1016/0041-1647(76)90114-3).

24. Black, J. A., Salter, R. J. A statistical evaluation of the accuracy of a family of gravity models. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1975, Vol. 59 Iss. 1, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1680/iicep.1975.3839>.

25. Knudsen, D. C., Fotheringham, A. S. Matrix comparison, goodness-of-fit, and spatial inter-action modeling. International Regional Science Review, 1986, Vol. 10, pp. 127–147. DOI: 10.1177/016001768601000203. ●

Информация об авторах:

Мартыненко Александр Валериевич – кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель научно-исследовательской лаборатории транспортного моделирования Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС); старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил Института экономики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭ УрО РАН), Екатеринбург, Россия, amartynenko@rambler.ru.

Сайфутдинов Денис Жавдатович – аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия, densssov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 22.12.2022, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 03.03.2023.



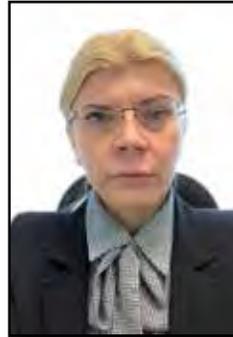
Правовые и технологические аспекты внедрения контракта жизненного цикла в пассажирском комплексе дальнего следования



Александр ЗЕМЛИН



Андрей ШИНКАРУК



Елена ВИШНЯКОВА

Александр Игоревич Землин¹, Андрей Сергеевич Шинкарук², Елена Петровна Вишнякова³

¹ *Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

² *Федеральная пассажирская компания (ФПК), Москва, Россия.*

³ *Транспортная компания «Феско» (ТК «Феско»), Москва, Россия.*

✉ ¹ zemlin.aldr@yandex.ru.

² *ORCID 0000-0001-8426-8625.*

АННОТАЦИЯ

Целью настоящей публикации является рассмотрение и оценка внедрения обслуживания и ремонта пассажирского подвижного состава на основе заключения договорных отношений по контракту жизненного цикла (КЖЦ).

По результатам проведённого анализа и полученного опыта формирования договорных отношений в формате КЖЦ как со стороны зарубежных компаний, так и на отечественном рынке установлено, что заказчику выгодно их заключение. Расходы, в конечном итоге, снижаются примерно на 10–15 % в сравнении с традиционной формой заключения договорных отношений (отдельный договор на изготовление и сервисное обслуживание). Существенным преимуществом является также то, что использование такого рода соглашений исключают необходимость поиска и последую-

щего заключения договоров с исполнителями на этапе эксплуатации.

При заключении контрактов КЖЦ закупка и заключение договора на последующее сервисное обслуживание подвижного состава могут быть осуществлены на основе концессионного соглашения в соответствии с требованиями законодательства о закупке. При закупке необходимо руководствоваться требованиями федерального закона в части обязательного проведения конкурсных процедур и отбора потенциальных поставщиков.

На основании анализа существующих моделей формирования договорных отношений по обслуживанию подвижного состава по контракту КЖЦ целесообразно рассматривать возможность его распространения на вновь изготавливаемый пассажирский подвижной состав, используемый в дальнем сообщении.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирское сообщение, пассажирский вагон, контракт, жизненный цикл, заказчик, эксплуатация и ремонт, контракт жизненного цикла.

Для цитирования: Землин А. И., Шинкарук А. С., Вишнякова Е. П. Правовые и технологические аспекты внедрения контракта жизненного цикла в пассажирском комплексе дальнего следования // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 87–90. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-10>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Контракт жизненного цикла (КЖЦ) – это разработка нового подвижного состава, его сервисное обслуживание в течение всего жизненного цикла и утилизация выработавшего нормативный срок службы вагона. Данный принцип в мировой практике зарекомендовал себя с положительной стороны.

К началу формирования скоростного и высокоскоростного сообщения на территории Европейских стран, которое приходится на конец 70-х - 80-х годов прошлого века была разработана концепция разделения перевозочного процесса на следующие основные направления: порядок назначения поездов и их курсирование (формирование графика движения поездов), реализация проездных документов, осуществление сервисного обслуживания (экипировка питанием, сопровождение поезда проводниками), а также осуществление технического обслуживания и ремонта подвижного состава [1, с. 115].

Первые контракты жизненного цикла были заключены в Великобритании в 90-х годах при приобретении и последующем сервисном обслуживании локомотивов. Изначально контракт жизненного цикла получил название Private Finance Initiative – инициативы частного финансирования.

Так на основе формы государственно-частного партнёрства, к примеру, был построен тоннель под Ла-Маншем, осуществлены прокладки веток лондонского метро и линии скоростных поездов.

К основным преимуществам КЖЦ можно отнести следующее – исполнитель (подрядчик) напрямую заинтересован не только в максимально быстром изготовлении подвижного состава, но и в эффективном и долгосрочном его использовании, минимизируя попадание вагонов во внеплановый ремонт или простой. Ведь оплату он будет получать не за сам объект, а за его использование владельцем.

При такой схеме взаимодействия производитель берёт на себя ответственность за поддержание в работоспособном состоянии своего изделия. Следовательно, при изготовлении пассажирского вагона на стадии проектирования в конструкцию закладываются самые эффективные и передовые технические решения.

По результатам подписания контракта каждая сторона получает ряд преимуществ. Производитель повышает качество подвижного состава, приобретает новые компетенции

и получает прибыль на протяжении всего срока службы объекта. У заказчика не возникает проблем по своевременности и полноте выполнения сервисных процедур, к тому же отсутствует необходимость в подборе подрядчика.

На основании опыта заключения КЖЦ в ряде европейских государств установлено, что заказчику выгодно их заключение, так как расходы снижаются примерно на 10–15 % в сравнении с традиционной формой заключения договорных отношений (отдельный договор на изготовление и отдельный договор на сервисное обслуживание). Также у заказчика отсутствует необходимость проведения процедур по поиску исполнителей для сервисного обслуживания подвижного состава.

Целью исследования является анализ правовых и технологических аспектов внедрения контракта жизненного цикла в пассажирском комплексе дальнего следования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В Российской Федерации нормативное регулирование по обслуживанию на основе КЖЦ регламентировано в 2014 году с принятием Федерального закона № 44-ФЗ¹, согласно которому под КЖЦ понимается следующий термин – это «контракт на приобретение товара или работы, их дальнейшее обслуживание, ремонт, эксплуатация и уничтожение товара (объекта)». Также в данном Федеральном законе предусмотрены оговорки, которые могут включаться на стадии создания и конструирования объекта при необходимости.

На основании комплексного толкования норм данного закона следует, что заключение договорных отношений по КЖЦ предполагает действие договора на весь период существования объекта. Если же заказчик захочет заключить дополнительное соглашение или контракт на один или несколько видов работ, из тех, что регламентированы или регулируются принципами КЖЦ, то это может повлечь ответственность за нарушение норм о защите конкуренции.

С технологической стороны выполнение всех стадий жизненного цикла подвижного состава, начиная с проектирования вагона до его утилизации, принципы которого регламен-

¹ Федеральный закон от 5 апреля 2013 года № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». [Электронный ресурс]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/37056>. Доступ 27.10.2022.

тированы требованиями ГОСТ 31539-2012 [3]², а также безусловное выполнение норм и правил безопасной эксплуатации вагона в соответствии с требованиями технического регламента таможенного союза ТР ТС 001/2011³ будут находиться в зоне ответственности исполнителя.

Правительство Российской Федерации Постановлением № 1087 «Об определении случаев заключения КЖЦ»⁴ определило исчерпывающий перечень объектов инфраструктуры, которые создаются и обслуживаются по принципу КЖЦ. В данный перечень вошли такие объекты инфраструктуры как автодорожные объекты, метро, железнодорожный транспорт, внеуличный и электрический транспорт на земле, порты, водные и воздушные суда, аэродромы, а также уникальные объекты капитальной постройки и объекты коммунального хозяйства.

Таким образом, Правительство дало ясно понять, что в России КЖЦ будет сформирован не на способе совместного сотрудничества государства и исполнителя, а как одна из форм госзакупок.

Вместе с тем, договорные отношения на железнодорожном транспорте по принципу КЖЦ заключались и ранее. На таких принципах заключены договора ОАО «РЖД» и его дочерними компаниями с Siemens, Patentos Talgo, и структурами Трансмашхолдинг на обслуживание поездов «Сапсан», «Ласточка», «Стриж», а также ряда моделей локомотивов соответственно.

Кроме того, ГУП «Московский метрополитен» и ОАО «Метровагонмаш» в 2013 году заключил контракт по принципу КЖЦ, по условиям которого подрядчик в течении 30 лет обязан обслуживать, ремонтировать и поставлять на линию технически исправный подвижной состав.

На основании анализа принципов, заложенных в нормативно-правовых документах поряд-

ка заключения контрактов КЖЦ, целесообразно отметить, что юридическая основа для закупки и последующего сервисного обслуживания подвижного состава может осуществляться как заключением договора с применением концессионного соглашения, так и непосредственно посредством закупочной деятельности (в зависимости от субъектного состава государственной стороны, объекта и предмета соглашения). Таким образом, при осуществлении закупочной деятельности необходимо руководствоваться Федеральным законом № ФЗ-223 «Об особенностях закупки товаров (работ, услуг) отдельными видами юридических лиц»⁵, которым регламентирован порядок проведения заказчиком конкурсного отбора потенциальных поставщиков.

В рамках конкурсных процедур и критериев конкурсного отбора закрепляются соответствующие параметры отбора, а также включаются все условия, планируемые к подписанию контракта. В соответствии с требованиями федерального законодательства также можно формировать сложный контракт, который может включать в себя не только обязательства непосредственно по осуществлению сервисного обслуживания подвижного состава, но и обязательства, связанные с привлечением дополнительного объема финансирования.

При этом фактор правового регулирования отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия остаётся весьма значимым [2, р. 237; 3].

Ключевым для любого контракта будет являться обязательство по оплате поставки и сервиса с рассрочкой платежей после начала экс-

² ГОСТ 31539-2012. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200097621>. Доступ 23.10.2022.

³ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава». – Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2012. – 47 с. [Электронный ресурс]: <https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0000821772>. Доступ 23.10.2022.

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации № 1087 от 28.11.2013 г. «Об определении случаев заключения контракта жизненного цикла (КЖЦ)» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/70522166/#friends>. Доступ 19.10.2022.

⁵ Федеральный закон «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» от 18 июля 2011 года № 223-ФЗ. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/. Доступ 19.10.2022.



плутации подвижного состава. Обязательства заказчика по такому контракту будут заключаться в предоставлении объектов недвижимости для размещения персонала и производственных мощностей для организации и проведения исполнителем сервисных регламентных работ, так как технология обслуживания также будет напрямую зависеть и от поставщика подвижного состава.

Следовательно, для обеспечения содержания производственных помещений и выполнения технологических операций также потребуются вовлечение инвестиционных средств для приобретения оборудования, а также реконструкции ряда производственных участков.

При формировании КЖЦ также необходимо рассматривать безрисковость процедуры, так как инвестиции исполнителя в переоборудование производственных участков увеличит стоимость как самого сервисного обслуживания, так и привлечённого финансирования. При этом безрисковость не бывает абсолютной, как показала пандемия COVID-19, основной удар которой пришёлся как раз на транспортный сектор [4], что одновременно актуализирует значимость медицинского компонента транспортной безопасности как одного из факторов снижения рисков [5, с. 183], а также других составляющих, например, в сфере экологии [6].

На основании вышеизложенного целесообразно рассмотреть и другие альтернативные варианты, например, концессию – это структурированный вариант сделки по покупке подвижного состава, в рамках которого возможно совместить предоставление имущества для организации ремонтной базы с поставкой подвижного состава на структурное подразделение заказчика. При этом заказчик будет выполнять отдельные полномочия концедента.

Выводы

Таким образом, на основании результатов проведённого анализа существующих моделей формирования принципов обслуживания по-

движного состава на основе КЖЦ целесообразно рассматривать возможность его распространения на вновь изготавливаемый пассажирский подвижной состав дальнего следования.

В целях систематизации и реализации подхода по обеспечению пассажирских перевозок на основе заключения договорных отношений по системе КЖЦ необходимо разработать нормативные акты технического регулирования конструкторских, технологических, логистических и производственных процессов с последующим внесением их в нормативно-законодательные акты и внедрением в образовательный процесс для повышения компетентности будущих транспортников [7].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карасёва А. А., Васильева М. А. Анализ мирового опыта развития высокоскоростного железнодорожного транспорта // Молодой учёный. – 2016. – № 6 (110). – С. 114–117. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/110/26636>. Доступ 16.10.2022.
2. 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. Springer, Singapore, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
3. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, Vol. 666, 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
4. Chernogor, N. N., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Mamedova, I. A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. E3S Web of Conferences, 2020, Vol. 203, 05019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>.
5. Клёнов 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.
6. Bagreeva, E. G., Zemlin A. I., Shamsunov S. K., Blankov A. S. On the issue of classification of risks of environmental safety of the transport complex: legal and organizational aspects. Turismo-estudos e praticas, 2021, No. 1, pp. 1–8. [Электронный ресурс]: <https://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/882>. Доступ 22.10.2022.
7. Холиков И. В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 1 (86). – С. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.

Информация об авторах:

Землин Александр Игоревич – доктор юридических наук, кандидат философских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой транспортного права Юридического института Российского университета транспорта, научный руководитель направления транспортной безопасности Научно-экспертного совета Центра исследования проблем безопасности Российской академии наук, Москва, Россия, zemlin.aldr@yandex.ru.

Шинкарук Андрей Сергеевич – инженер путей сообщений, Главный ревизор по безопасности движения поездов Федеральной пассажирской компании (ФПК), Москва, Россия, Shinkarukas@mail.ru.

Вишнякова Елена Петровна – заместитель директора департамента ТГ «Феско», Москва, Россия, gegjr55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.08.2022, одобрена после рецензирования 05.09.2022, принята к публикации 16.01.2023.



Разработка унифицированного программного алгоритма подготовки к перевозке крупногабаритных грузов



Максим Алексеевич Копылов

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия.
✉ dorothej@mail.ru.*

Максим КОПЫЛОВ

АННОТАЦИЯ

Совершенствование процесса транспортировки приводит к расширению возможностей перевозчиков, производителей и заказчиков, что в свою очередь ведёт к увеличению потребности в перевозке грузов.

Повышение скорости и качества прохождения этапов подготовки к перевозке крупногабаритных грузов позволит снизить затраты на доставку такого груза, приведёт к привлечению инвестиций в различные отрасли экономики.

В этой связи актуальной научной проблемой, рассмотрение которой составляет цель исследования, является необходимость разработки и применения унифицированного программного алгоритма подготовки к перевозке крупногабаритных грузов.

Использовались теоретические методы изучения и анализа отечественных и зарубежных источников ин-

формации о подготовке к транспортировке крупногабаритных грузов.

В ходе исследования последовательно рассмотрены аспекты, касающиеся подготовки к транспортировке крупногабаритного груза, и разработан проект алгоритма для автоматизации планирования этапов перевозки крупногабаритных грузов.

При использовании предлагаемого автоматизированного унифицированного алгоритма подготовки к транспортному процессу предполагается снижение трудовых, временных затрат процесса транспортировки крупногабаритного груза в целом и снижение рисков допущения технологической ошибки на этапах подготовки к транспортировке крупногабаритного груза, которая может привести к финансовым и репутационным потерям.

Ключевые слова: транспорт, крупногабаритный груз, алгоритм, автоматизация перевозки.

Для цитирования: Копылов М. А. Разработка унифицированного программного алгоритма подготовки к перевозке крупногабаритных грузов // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 91–100. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-11>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на территории Российской Федерации реализуется большое количество инвестиционных проектов.

Их реализация обуславливает потребность транспортировки к объектам строительства таких крупногабаритных грузов, как трубы, секции башен ветроэлектростанций, секции мостов, мостовые балки и иные подобные конструкции, а также доставки крупногабаритной дорожно-транспортной техники.

Количество строительных площадок, где необходимы крупные элементы, являющиеся при перевозке крупногабаритным грузом, растёт и в Европе [1]: это строительство портов, крупных логистических центров и так далее.

В международной практике признано, что планирование оптимальных схем перевозки крупногабаритных грузов автотранспортом может дать важную гарантию безопасности и надёжности поставок для масштабных проектов. Программные продукты в области планирования перевозки крупногабаритных грузов всё более активно применяются в работе логистических компаний. В современном усовершенствованном моделировании транспортировки крупногабаритных грузов учитываются даже весовые значения угла дороги при выборе маршрута транспортных средств на автомобильных дорогах, не говоря уже про типовые программные алгоритмы расчёта кратчайшего пути [2].

Ещё в 2009 году с целью повышения качества обработки крупногабаритных грузов в регионе Южной Балтики был запущен международный проект *Oversize Baltic*, возглавляемый Клайпедским научно-техническим парком, в котором участвовали партнёры из Польши, Германии, Литвы и Швеции. И одной из основных целей проекта было создание информационной сети, которая:

1. Повысит эффективность негабаритных перевозок в южно-балтийском регионе за счёт определения точек интеграции, где будет получено соответствующее разрешение;
2. Соберёт данные о доступных маршрутах транзита негабаритных грузов, существующей транспортной инфраструктуре и препятствиях.

Планировалось, что программа будет охватывать как «новые», так и «старые» страны-члены Евросоюза, где существуют

существенные различия в уровне социального и экономического развития, также программа должна была распространиться на все виды транспорта. Проект реализовывался в 2009–2011 годах и был направлен на развитие предпринимательства, интеграцию рынков труда, а также транспортную доступность регионов, а также включает действия, предпринимаемые для поддержки проектов, связанных с охраной окружающей среды Балтийского моря, энергосбережением и возобновляемой энергией, устойчивым использованием природных ресурсов и культурного наследия для регионального развития и устранением транспортных узких мест в прибрежной зоне Южной Балтики¹ [3].

На основе тематического анализа информации можно с уверенностью сказать, что в сфере бизнеса есть потребность в программном обеспечении, охватывающем весь процесс планирования подготовительных этапов транспортировки крупногабаритных грузов.

Однако, изучая материалы по теме исследования, на сегодняшний день можно сделать заключение, что единого, чётко сформулированного алгоритма действий по подготовке транспортировки нет, есть либо несистематизированный набор задач, которые необходимо решить перед началом перевозки крупногабаритного груза, либо алгоритмы действий в рамках отдельно взятых этапов.

В большинстве случаев применения программных продуктов при планировании транспортировки акцент сделан на автоматизацию составления маршрутов и контроля непосредственно этапа перевозки груза, и, в основном, это программное обеспечение, разработанное для перевозок товаров ежедневного спроса (партий товаров).

Возможность создания автоматизированного подхода к планированию транспортировки грузов затронута и в отечественной специализированной литературе. Многие авторы обращаются к теме разработки методологии процесса усовершенствования поставок крупногабаритных и тяжеловесных грузов при помощи автоматизации [4; 5]. Российскими специалистами описываются различные виды транспортировок, с исполь-

¹ <https://trimis.ec.europa.eu/project/oversize-baltic>. Доступ 02.12.2022.

зованием того или иного вида транспорта на конкретных примерах. Однако, алгоритма, на основе которого можно создать унифицированный программный продукт всё же не предложено. Такие этапы процесса транспортировки, как этап анализа критериев, обозначенных заказчиком, подготовка документации, оперативное устранение ошибок и препятствий в случае их возникновения непосредственно при процессе перевозки крупногабаритного груза не затронуты.

Ввиду нестандартных габаритов и массы, а также других особенностей крупногабаритных грузов их транспортировка становится сложным и дорогостоящим процессом, ошибки при выполнении которого могут повлечь за собой финансовые и репутационные потери.

Обобщая вышеизложенную информацию, автор поставил *целью* исследования, результаты которого приводятся в статье, сформулировать и предложить к рассмотрению унифицированный алгоритм, который должен быть основой программного продукта для автоматизации процессов подготовки к перевозке крупногабаритных грузов.

При его проведении использовались теоретические *методы* изучения и анализа отечественных и зарубежных источников информации о подготовке к транспортировке крупногабаритных грузов, методы анализа полученных сведений о программировании отдельных этапов перевозки крупногабаритных грузов и обобщения программных возможностей для разработки единого (универсального) алгоритма автоматизации процесса подготовки к транспортировке крупногабаритных грузов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Актуальность создания алгоритма планирования этапов подготовки к транспортировке крупногабаритного груза для программного продукта продиктована необходимостью повысить эффективность подготовительных работ, добиться снижения временных затрат и повышения качества погрузки/разгрузки груза; минимизации рисков допущения технологической ошибки на этапах подготовки к транспортировке крупногабаритного груза. Повышение эффективности подготовительных работ позволяет избежать репутационных и излишних финансовых потерь.

Крупные фирмы–перевозчики, осуществляющие транспортировки крупногабаритных и негабаритных грузов, инвестируя в такого рода программные продукты, смогут в итоге иметь универсальное программное обеспечение, обеспечивающее эффективность работы, а также заменяющее большое количество разрозненных между собой и не дающих сводного результата программ.

Опираясь на изучение материалов о различных видах транспортировки крупногабаритных грузов, предлагается рассмотреть следующие основные этапы универсального алгоритма планирования перевозки крупногабаритных грузов.

Первый этап – анализ основных физико-химических характеристик крупногабаритного груза, подлежащего к перевозке.

Предлагается определить физико-химические особенности, а именно: габариты, вес перевозимого крупногабаритного груза, а также уточнить прочие особенности, связанные с перевозкой данного груза (опасный груз, хрупкий груз и так далее).

Основные физико-химические параметры груза определяют маршрут, условия и скорость перевозки. Эта связь подробно рассмотрена в работе чешских специалистов [6], которые для моделирования оптимального маршрута перевозки установили датчики и приборы слежения на транспортном средстве, предназначенном для перевозки крупногабаритных грузов, и в ходе многолетних исследований фиксировали все этапы перевозки с целью выявить, какие трудности и нагрузки ожидают транспортное средство с крупногабаритным грузом в дороге в зависимости от его физико-химических свойств. Затем полученные данные были использованы для усовершенствования транспортных средств, осуществляющих транспортировку крупногабаритных грузов, и только после этого были смоделированы оптимальные маршруты для перевозки крупногабаритных грузов на территории Чехии, а также транспортные пути в Австрию, Словению и в другие страны поставщиков и заказчиков крупногабаритных грузов.

Красноречивыми примерами важности анализа основных физико-химических характеристик крупногабаритного груза, подлежащего к перевозке, могут служить следующие перевозки.



В период с 23 по 30 октября 2003 года из Университета Аризоны в Тусоне на вершину Изумрудного пика горы Грэхем высотой 3190 метров (10480 футов) было доставлено первое из 8,4-метровых зеркал Большого бинокулярного телескопа. Двухэтапная операция потребовала пяти месяцев подготовки. Первый этап начался 23 октября, когда 16-тонное зеркало и его 33,5-тонный защитный стальной короб были погружены в грузовик. Рано утром следующего дня грузовик отвёз груз в базовый лагерь Международной обсерватории Маунт-Грэхем недалеко от гор Пиналено. Колонна из грузовика с зеркалом и сопровождавшего его полицейского эскорта из 25 автомобилей преодолела 196 км со средней скоростью 72 км/ч. Второй, более трудный этап проходил с 27 по 30 октября. 27 октября зеркало было помещено на массивный прицеп, и в течение следующих трех дней трейлер поднимался на 2400 метров по гравийной дороге под названием *Swift Trail* со скоростью улитки – 1,6 км/ч. Трейлер двигался на 48 колёсах, каждое из которых имело свою собственную независимую гидравлическую систему для поддержания вертикального положения зеркала при преодолении 47 км извилистой дороги с узкими поворотами. Руководитель команды по сборке телескопа заранее осмотрел каждый метр дороги, а сотрудники обсерватории и Департамента транспорта Аризоны выровняли неровности и колейность гравийных участков².

В 2001 году карьерный роторный экскаватор Bagger 288 был перевезён в Германии на 22 километра от карьера Тагебау Хамбах до Тагебау Гарцвайлер. Для преодоления этого расстояния понадобились три недели и семьдесят рабочих. Маршрут пересекал автобан 61, реку Эрфт, железнодорожную линию и несколько дорог. Для переезда через водные преграды в русле размещали стальные трубы, по которым протекала вода, и создавали ровную поверхность для проезда над трубами, используя камни и гравий. Чтобы не повредить ценные почвы, высеивалась специальная трава. Переезд Bagger 288 своим ходом в собранном виде был более

экономичным, чем разборка экскаватора и перемещение его по частям³. Таким образом, без данного этапа невозможны планирование и подготовка дальнейших этапов подготовки к транспортировке. Ошибки, допущенные на этом этапе, могут привести к непредвиденным ситуациям на последующих этапах транспортировки.

Точные сведения о физико-химических свойствах крупногабаритного груза предпочтительно получать от производителя груза. В последующем эти сведения необходимы также для этапа оформления документации (получения разрешений, оформления договоров и так далее).

В программном продукте, планирующем транспортировку, необходимо разработать раздел, собирающий и отражающий основные физико-химические данные об объекте перевозки (своего рода справочник), которые впоследствии будут использованы в алгоритмах расчётов соответствующих коэффициентов, в итоге определяющих оптимальный выбор транспортного средства для перевозки крупногабаритного груза. Также раздел с первичными данными об объекте будет задействован для автоматического заполнения документов.

Второй этап – уточнение критериев перевозочного процесса, обозначенных заказчиком.

Наиболее важными критериями перевозки являются: стоимость, скорость, сохранность и надёжность. В зависимости от требований заказчика специалисты, организующие перевозку, должны либо сделать акцент на том или ином критерии, либо найти оптимальное соотношение между ними.

Если заказчик главным критерием считает скорость при доставке крупногабаритного груза, то специалист логистической компании перевозчика в автоматизированной программе выбирает схему, в которой заложен алгоритм с ориентиром на выбор воздушного или автомобильного транспорта, так как данные виды транспорта выгодно отличаются от железнодорожного и морского транспорта в плане скорости доставки груза. При этом программа должна сразу коррелировать этот этап с первым этапом, чтобы груз физически можно было поместить на выбранный вид

² Naeye, R. Trucking the World's Largest Telescope Mirror. November 7, 2003. [Электронный ресурс]: <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/trucking-the-worlds-largest-telescope-mirror/>. Доступ 02.12.2022.

³ Magnificent monstrous machines. [Электронный ресурс]: <https://constructiontimes.co.in/magnificent-monstrous-machines/>. Доступ 02.12.2022.

транспорта, учитывая препятствия на пути следования.

Один из примеров – транспортировка американского космического шаттла «Индевор»: груз был закреплён поверх борта Боинга 747, который специально был подготовлен для такой перевозки⁴.

Если заказчик выдвинул главным критерием не скорость доставки, а стоимостной показатель, то специалисты перевозчика в программе выбирают алгоритм, направленный на снижение стоимости доставки – схему доставки груза, в которой как возможные виды транспорта при перевозке принимаются водный и железнодорожный транспорт (при их использовании тарифы доставки на большие расстояния ниже), или программа предложит оптимальный автотранспортный подвижной состав (данные берутся из справочника грузоперевозчиков, составленного для третьего этапа подготовки перевозки) и другие пути снижения затрат.

Возможен вариант, когда главным условием при перевозке негабаритного груза является сохранность и надёжность. В этом случае выбирается автоматизированная схема подготовки транспортировки с предложением вариантов и расчётом затрат на особые меры предосторожности для сохранности груза: защита груза с помощью тентов или осуществление транспортировки только в определённое время года (время суток) и при благоприятных погодных условиях (при отсутствии дождя, снега, ветра и плохой видимости). В этой части программы целесообразно внедрить автоматизированную подсистему прогноза погоды в указанной местности, с возможностью подбора статистических данных за прошлые периоды времени (на сегодня это открытая достаточно точная информация, которую можно брать на Интернет-ресурсах).

Такая схема, например, актуальна при транспортировке негабаритных оптических приборов (стёкол для больших телескопов).

Для обеспечения надёжности транспортировки при автоматизации процесса уместно взять за основу программные продукты страховых компаний и внедрить их алгоритмы работы унифицированной программы планирования транспортировки (в данном случае

уже собрана статистика надёжности перевозок различными видами транспорта и внесены алгоритмы расчётов коэффициентов надёжности).

Учёт предпочтений заказчика повышает один из итоговых оценочных критериев проведённого процесса транспортировки – качество перевозки.

Третий этап – подбор вида и типа транспортного средства.

В зависимости от заданных параметров первого и второго этапов специалисты компании-перевозчики должны подобрать наиболее подходящие вид и тип подвижного состава при перевозке (программа, учитывая данные справочников, исключает из итогов рассмотрения все виды и типы транспорта, которые не смогут перевозить данный крупногабаритный груз по ранее заданным критериям, оставляя для специалистов на просмотр только подходящие варианты).

Для понимания данного этапа необходимо привести пример. Секция башни ветроэлектростанции (ВЭУ, масса – 50 тонн, ширина и высота – 4 метра, длина – 21 метр) может быть перевезена как пятиосным раздвижным полуприцепом-тяжеловозом и седельным тягачом с меньшей максимальной нагрузкой, так и полуприцепом с большим количеством осей и седельным тягачом с большей максимальной нагрузкой, но последний вариант будет не целесообразным, так как затраты при этом на полуприцеп с большим количеством осей и на седельный тягач с большей максимальной нагрузкой, скорее всего будут выше, при этом точно такую же перевозку сможет осуществить полуприцеп с пятью осями и седельный тягач с меньшей максимальной нагрузкой. Эффективность того или иного решения может подтвердить или опровергнуть такой важный показатель в грузоперевозках, как коэффициент использования грузоподъёмности. Чем он выше, тем эффективнее используется транспортное средство.

Из предложенных программных вариантов специалист должен иметь возможность рассмотреть в программе и комбинированные варианты перевозки – привлечение нескольких видов транспорта при перевозке крупногабаритных грузов (смешанная транспортировка), так как на пути в большинстве случаев встречаются инфраструктурные, административные и прочие ограничения. Также

⁴ Например: [Электронный ресурс]: https://www.nasa.gov/centers/dryden/home/STS-126_status.html. Доступ 02.12.2022.



общая стоимость транспортировки одним транспортом иногда может оказаться выше, чем перевозка с использованием нескольких видов транспорта.

Сегодня почти все основные виды транспорта имеют специализированный подвижной состав для транспортировки крупногабаритных грузов. Например, существуют специализированные суда для транспортировки крупногабаритных грузов – полуподводное судно (SEMI), которое изначально находится в полузатопленном состоянии (за счёт его частичного затопления, с помощью заполнения специальных шлюзов судна водой) для удобства погрузки негабаритного груза на палубу, а когда вода откачивается, то палуба поднимается и негабаритный груз остаётся на сухой палубе [7].

При мультимодальных (смешанных) перевозках специалист компании перевозчика должен не только забронировать подвижной состав, но и не допустить такой ситуации, когда при запланированном использовании железнодорожного, водного, воздушного транспорта выбранный вид транспорта не будет способен принять груз.

Так, например, в случае с секцией ВЭУ она может быть помещена на водный подвижной состав, но не может быть помещена на воздушный, или железнодорожный. Или, например, при выгрузке такой секции в порту, окажется, что автомобильный вид транспорта не соответствует привезённому грузу (по грузоподъёмности или грузовместимости).

Таким образом, специалист должен удостовериться при помощи программы в том, что все транспортные средства, участвующие в мультимодальной перевозке, будут подходить для транспортировки того или иного крупногабаритного груза.

Также специалисту компании перевозчика необходимо определить, стоит ли покупать, нанимать, или брать в лизинг подвижной состав.

Относящиеся к данному этапу мероприятия могут быть оптимизированы за счёт использования унифицированной программы планирования транспортировки: подбор транспортного средства за счёт внутрисистемных расчётов соответствующих коэффициентов использования транспортных средств, применение фильтра в области финансовых возможностей заказчика с наложением критериев относительно специфических

характеристик груза и его сохранности и так далее.

Очень интересное предложение было сделано специалистами ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» в 2019 году в отношении создания информационно-интерактивного справочника, который мог бы быть интегрирован в предлагаемую к разработке программу планирования транспортировки. Справочник помогает в разработке проекта, визуализации результата, автоматизации обязательных расчётов и составления смет, в подготовке, управлении и контроле процесса перевозки и представляет собой табличную SQL-базу данных, создаваемую на основе исходных документов – чертежей, эскизов, описаний производителей и поставщиков транспортных средств, которые доступны для просмотра при создании/редактировании точечных моделей.

Все занесённые в справочник транспортные средства поделены на типы (по назначению и расчётным схемам определения осевых нагрузок). Каждому типу транспортных средств соответствует отдельная таблица. Все таблицы данных входят в базу данных «Scheme», управляемую SQL сервером. Информационная система основана на сетевом программном обеспечении с функциями проектирования перевозок на основе построения схем автопоездов [8].

Четвёртый этап – построение маршрута движения.

На этом этапе, помимо использования уже имеющихся на сегодня программ для построения маршрутов с помощью GPS-навигаторов, специалист должен учитывать множество факторов, которые могут стать преградой для транспортировки крупногабаритного груза. В процессе работы над этим этапом отдельно разрабатывается, согласовывается и утверждается как каждый отрезок маршрута, так и весь маршрут целиком.

Основные преграды, встречающиеся при организации транспортировок в России и за рубежом это: знаки дорожного движения, элементы и конструктивные решения (освещение, островки безопасности, приподнятые бордюры, перила), мосты, пункты взимания платы, линии электропередач и другие линии, железнодорожные переезды и развязки, выход из производственных цехов, а также кольцевые развязки. Приведённый перечень можно

дополнить дорожным покрытием, несоответствующим безопасному движению, «лежачими полицейскими» и многими другими инфраструктурными объектами [9].

Помимо перечисленных препятствий, ограничения могут быть ландшафтными (возвышенности, реки и так далее). Учёт всех этих факторов также влияет на выбор подвижного состава, поэтому данный этап тесно связан с предыдущим.

Учитывая анализ препятствий на пути наилучшего маршрута перевозки, специалист, разрабатывающий перевозку при помощи программного обеспечения, должен рассматривать и альтернативные маршруты.

При мультимодальных перевозках необходимо увязать маршрут с пунктами перегрузки груза (в программу предлагается включить базу данных по таким пунктам перегрузки).

Так, например, не каждый порт сможет принять сверхнормативный груз, ввиду отсутствия необходимого оборудования – это может повлиять на построение итогового варианта маршрута и на возможный отказ от использования того или иного вида транспорта, ввиду отсутствия на пути маршрута подходящей инфраструктуры для его обслуживания.

В 2017 году зарубежными специалистами предложена система критериев оценки маршрута при грузоперевозках тяжеловозных и негабаритных грузов: при планировании маршрута предлагается сравнить произведение некоторых весов критериев и баллов воздействия факторов. В итоге определяется оптимальный маршрут грузоперевозки [1; 10].

В том же году отечественный программный разработчик К. А. Коновалов запатентовал интересный программный продукт – «Система управления мультимодальными перевозками», который предназначен для автоматизации процессов планирования и учёта мультимодальных транспортировок грузов. «Программа предоставляет клиентский доступ к оформлению заявок на перевозки владельцам грузов, позволяет контролировать исполнение этапов доставки, расчёты с клиентами и поставщиками, имеет возможность обмена данными с системами партнёров в стандартах EDIFACT и ANSI» [11].

Такого рода программные разработки возможно использовать в предлагаемом к раз-

работке программном обеспечении для планирования транспортировки крупногабаритных грузов.

Пятый этап – анализ и оформление сопровождающей документации.

Неотъемлемой частью процесса транспортировки является оформление пакета сопроводительных документов: договоры, товарно-транспортные накладные, сопроводительные документы для используемого транспорта, разрешения всевозможных государственных, муниципальных, таможенных и прочих органов.

Данный этап является трудоёмким даже для опытного эксперта: несоответствия законодательств различных стран, количество документов являются проблемой для перевозчиков всех стран.

В некоторых случаях невозможно осуществить перевозку груза без получения специфической разрешительной документации.

В случае осуществления международных мультимодальных перевозок, список документов возрастает многократно [12], следовательно, на данном этапе требуется большой опыт организации перевозок и, возможно, консультация узких специалистов. Часто, компании-перевозчики отдают работу, связанную с данным этапом, на аутсорсинг.

При автоматизации данного процесса предлагается ввести в программное обеспечение отдельный раздел, который будет вестись специалистами в данной области, а итоги и сроки получения документации будут выводиться в общий сводный раздел программы по планируемой транспортировке крупногабаритного груза.

Автоматизированное согласование маршрута можно осуществить путём применения единой системы межведомственного электронного взаимодействия с использованием электронно-цифровой подписи (во многих системах данный опыт уже нарабатывается и имеет положительные отзывы, например, в налоговой системе, электронно-цифровых системах Росреестра и Росимущества). Заявленный маршрут при необходимости можно гораздо легче корректировать и согласовывать со всеми владельцами автомобильных дорог, по которым проходит данный маршрут, балансодержателями искусственных сооружений (туннели, линии электропередач, наземные пешеходные переходы), отделениями



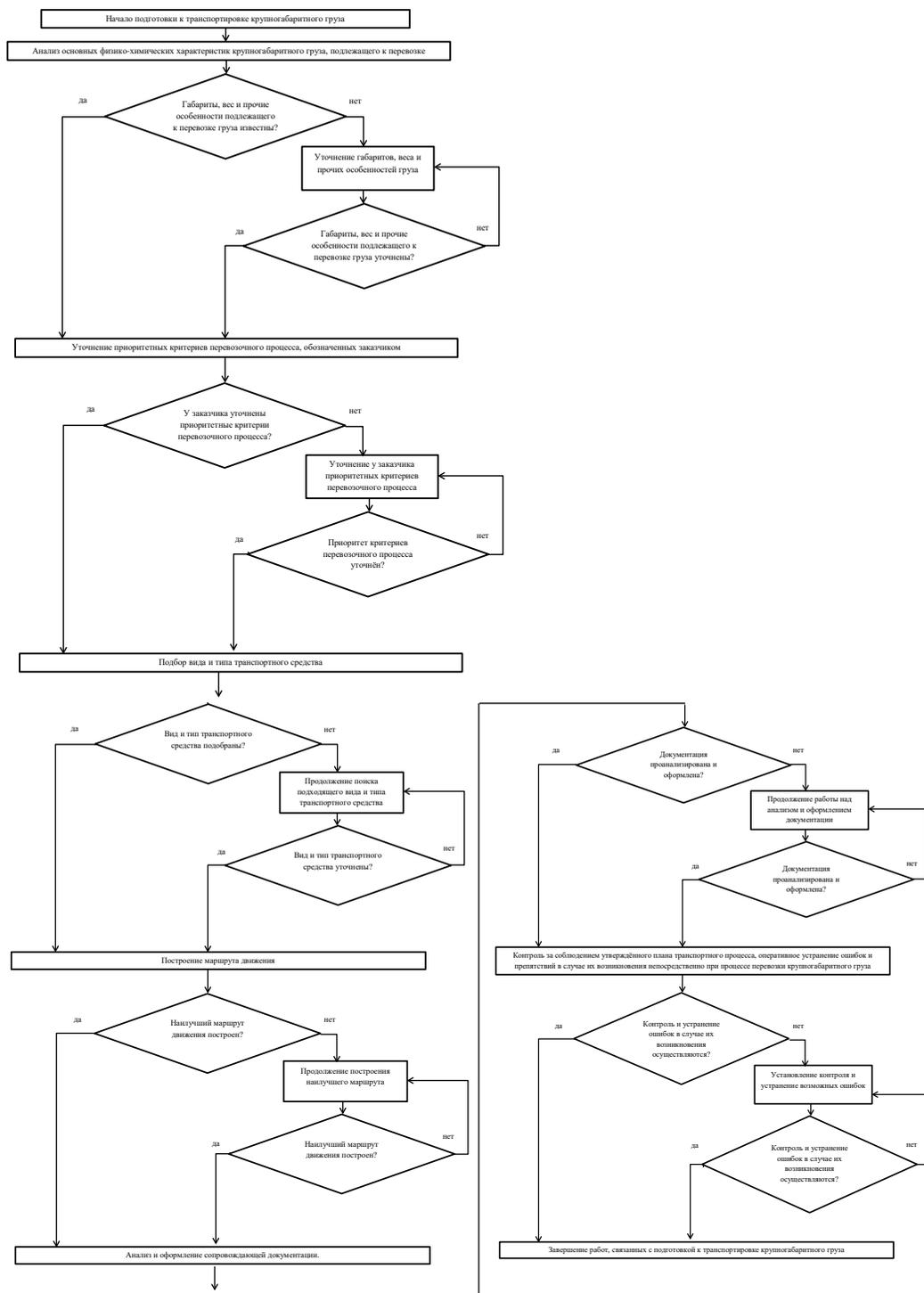


Рис. 1. Алгоритм работы программы.

железных дорог при наличии на маршруте железнодорожного переезда. В результате пользователь программы получает на руки на бумажном или электронном носителе специальное разрешение, в котором подробно указан согласованный маршрут перевозки,

с официальными названиями автомобильных дорог по участкам и их идентификационными номерами [13].

Дополнительно в предлагаемую программу можно ввести подсистему мониторинга и контроля за соблюдением утвержденного

плана транспортного процесса для оперативного устранения ошибок и препятствий в случае их возникновения непосредственно в процессе перевозки крупногабаритного груза. Несмотря на то, что подготовка к транспортировке крупногабаритного груза, может занимать вплоть до нескольких месяцев, при её реализации всё равно могут возникнуть непредвиденные проблемы, которые специалисты должны будут оперативно решать, непосредственно в процессе транспортировки.

Московское конструкторское бюро «Компас» ещё в 2015 году запатентовало программу мониторинга перевозок специальных, опасных, крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом [14], которая потенциально имеет возможность контроля соблюдения маршрутов и графика перевозок; может производить анализ информации о нарушениях маршрутов и графиков перевозок; осуществлять своевременное информирование экстренных оперативных служб о возникновении чрезвычайных ситуаций и террористических актов.

Одновременно в 2015 году А. Д. Крутихиным была запатентована Программа мониторинга движения автотранспорта «Transport Control» [15], имеющая дополнительные функции по учёту расхода горюче-смазочных материалов, необходимых для осуществления перевозки, «ведению справочников транспортных средств, водителей, складов и пунктов доставки, путевых листов, а также множества контрольных точек, описывающих движение транспортных средств; вычисление длины маршрута» [15].

Также сегодня в работе автотранспортных предприятий широко применяются программные продукты на основе системы «ГЛОНАСС», использующей современное спутниковое оборудование.

Таким образом, автоматизированные подсистемы контроля для создания единой автоматизированной системы перевозки крупногабаритных грузов уже существуют, имеют альтернативы, а также есть специалисты, способные внедрить эти программы в предлагаемую для разработки программу.

В итоге, алгоритм работы программы, используемой для подготовки к транспортировке крупногабаритного груза, можно отобразить в следующем виде, представленном на рис. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам рассмотрения темы разработки унифицированного алгоритма автоматизированной подготовки процесса перевозки крупногабаритных грузов предлагается следующий алгоритм работы автоматизированной программы, планирующей этапы транспортного процесса:

1) Анализ габаритов и весовых характеристик крупногабаритного груза, подлежащего к перевозке.

2) Уточнение критериев перевозочного процесса, выдвигаемых заказчиком.

3) Анализ препятствий на предполагаемом маршруте движения.

4) Подбор типа и вида транспортного средства

5) Построение итогового маршрута движения.

6) Подготовка документации.

При автоматизации и выполнении разработанного алгоритма эффективность процесса планирования этапов транспортировки крупногабаритного груза повысится за счёт снижения вероятности допущения ошибки планирования (незапланированных факторов различного происхождения: физических, природных, инфраструктурных, административных и так далее) и организации этапов перевозки, минимизации рисков серьёзных финансовых, репутационных и иных неблагоприятных последствий. Также программное обеспечение, поддержанное государством в рамках, например, программы «Цифровая экономика Российской Федерации», могло бы централизованно решать проблемы перевозчиков крупногабаритных грузов [16] (сделать прозрачным получение разрешений, унифицировать виды документов для данного вида транспортировок, уменьшить время на оформление документов, подбор маршрутов, перевозчиков; усилить контроль над предоставлением государственных и муниципальных услуг в сфере перевозки; выявить добросовестных и конкурентоспособных перевозчиков на данном рынке услуг и так далее).

Разработка и внедрение предлагаемого проекта программного продукта может стать новой услугой цифровой экономики высокого качества.

Обобщая всё вышеизложенное, делается вывод о том, что:

1. В сфере грузоперевозок крупногабаритных грузов программное обеспечение востре-



бовано (что подтверждается попытками создавать единое, универсальное программное обеспечение за рубежом и цифровизацией отдельных этапов транспортировки в России). Однако предлагаемый к разработке программный продукт требует немалого вложения финансовых средств, что под силу либо крупным компаниям (альянсу компаний), либо государству.

2. На сегодня есть много различных разрозненных программных продуктов, которые могут стать составными частями предлагаемой к разработке универсальной программы, охватывающей все этапы подготовки к перевозке крупногабаритного груза (в соответствии с описанным в статье алгоритмом). При привлечении работников IT-сферы возможно объединить разработанные уже программные продукты в одно целое.

3. Предложенный алгоритм программного продукта является универсальным для всех видов транспорта при транспортировке крупногабаритных грузов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wolnowska, A., Konicki, W. Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 39 (41), pp. 614–623. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.06.063.
2. Lingkui, Meng; Zhenghua, Hu, Changqing; Huang; Wen, Zhang; Tao, Jia. Optimized Route Selection Method Based on the Turns of Road Intersections: A Case Study on Oversize Cargo Transportation. *International Journal of Geo-Information*, 2015, Vol. 4 (4), pp. 2428–2445. DOI: 10.3390/ijgi4042428/.
3. Galor, W., Galor, A. Oversize cargo transport in the Polish part of South Baltic region. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2011, Vol. 18, Iss. 3, pp. 99–106. [Электронный ресурс]: <https://kones.eu/ep/2011/vol18/po3/13.pdf>. Доступ 02.12.2022.
4. Остапарченко Е. А. Методологический подход к построению цепей поставок крупногабаритных и тяжеловесных грузов // Информационно справочная система визуального проектирования и обеспечения перевозок механически загружаемых и крупногабаритных грузов // *Транспортное дело России*. – 2018. – № 5. – С. 134–137. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_36307849_58320290.pdf. Доступ 02.12.2022.
5. Данилов Г. Ю. Системы автоматизации расчёта мультимодальной перевозки груза: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции // Северо-Кавказский Федеральный университет. – 2018. – Т. 2. – С. 92–94. [Электронный ресурс]: [informacionnogo-obshchestva_chast-2_26–28.12.2017.pdf. Доступ 02.12.2022.](https://www.ncfu.ru/export/uploads/Dokumenty-Nauka/materialy-VII-konferencii-studencheskaya-nauka-dlya-razvitiya-

</div>
<div data-bbox=)

6. Petru, J., Krivda, V. The Process of Setting the Parameters for Ensuring Passage of Oversized Cargos. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2019, Vol. 14 (3), pp. 425–442. DOI: 10.7250/bjrbe.2019-14.451.
7. Chmieliński, M. Safety of Oversize Cargo in Ports and in the Sea Transport. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2017, Vol. 17, Iss. 1, pp. 151–157. DOI: 10.12716/1001.11.01.18
8. Маторин М. А., Максимычев О. И., Рогова О. Б. Информационно справочная система визуального проектирования и обеспечения перевозок механически загружаемых и крупногабаритных грузов: Сборник материалов 77-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в строительстве и на транспорте». – 2019 – С. 101–110. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37400182_33734261.pdf. Доступ 02.12.2022.
9. Petru, J., Krivda, V. The Transport of Oversized Cargoes from the Perspective of Sustainable Transport Infrastructure in Cities. *Sustainability*, 2021, Vol. 13 (10), pp. 5524. DOI: 10.3390/su13105524.
10. Petraška, A., Čiziūnienė, K., Jarašūnienė, A., Maruschak, P. Algorithm for the assessment of heavyweight and oversize cargo transportation routes. *Journal of Business Economics and Management*, 2017, Vol. 18 (6), pp. 1098–1114. DOI: 10.3846/16111699.2017.1334229.
11. Коновалов К. А. Система управления мультимодальными перевозками // Федеральная служба по интеллектуальной собственности / Номер регистрации (свидетельства) 2017615325, дата регистрации 12.05.2017 г.
12. Macioszek, E. Conditions of oversize cargo transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 2019, Vol. 102, pp. 109–117. DOI: 10.20858/sjsust.2019.102.9.
13. Смирнова О. Ю., Эртман Ю. А. Цифровые технологии при организации перевозки сверхнормативных грузов автомобильным транспортом // Научный рецензируемый журнал «Вестник СИБАДИ». – 2022. – Т. 19. – № 2. – С. 236–244. [Электронный ресурс]: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/1436/757>. Доступ 02.12.2022.
14. Носов С. В., Ильичев Р. В., Капралов А. А., Батраков А. А., Ковтуненко К. А., Абрамов И. В. Программа подсистемы мониторинга перевозок специальных, опасных, крупногабаритных тяжеловесных грузов автомобильным транспортом // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Номер регистрации (свидетельства) 2015663615, дата регистрации 25.12.2015 г. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/sadzkm>. Доступ 02.12.2022.
15. Крутихин А. Д. Программа мониторинга движения автотранспорта «Transport Control» / Номер регистрации (свидетельства) 2015663352, дата регистрации 16.12.2015 г. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности.
16. Будрина Е. В. Внедрение инновационных технологий в сфере перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2020. – № 3 (70). – С. 39–45. [Электронный ресурс]: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_07000431135?page=40&rotate=0&theme=white. Доступ 02.12.2022. ●

Информация об авторе:

Копылов Максим Алексеевич – аспирант Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону, Россия, dorothej@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.12.2022, одобрена после рецензирования 23.01.2023, принята к публикации 03.03.2023.



**ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ** **102**

Мониторинг ЦУР, связанных с транспортом: международная и российская практика.



**ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫЕ
РЕАГЕНТЫ** **110**

Как совместить дорожную и экологическую безопасность. Поиск новых решений.



БЕЗОПАСНОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 536.7:656.224/225
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-12>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 102–109

Отслеживание доступности показателей по ЦУР 9.1 по транспортной инфраструктуре на примере стран-участников G20



Анна САРГИНА



Надежда СЕДОВА

Анна Валериевна Саргина¹,
Надежда Васильевна Седова²

¹ АО «Рамакс Интернейшнл», Москва, Россия.

² Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова., Москва, Россия.

✉ ¹ anna.sargina@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В связи с возросшим интересом к реализации повестки устойчивого развития необходима объективная оценка успешности продвижения по поставленным целям устойчивого развития и задачам.

Цель статьи – рассмотреть доступность показателей транспорта по ЦУР 9.1 («Развивать качественную, надёжную, устойчивую и стойкую инфраструктуру, включая региональную и трансграничную инфраструктуру, в целях поддержки экономического развития и благополучия людей, уделяя особое внимание обеспечению недорогого и равноправного доступа для всех») на примере стран-участников G20, а также оценить полноту данных, предоставляемых

странами. Информационно-эмпирическая база исследования основана на данных Европейской экономической комиссии ООН и Росстата. При проведении исследования использованы общенаучные методы анализа, синтеза и классификации.

Результатом обработки данных является оценка доступности данных и расчёт индекса полноты данных для стран G20. Авторами предложены дополнения по отслеживаемым показателям по объёму пассажирских и грузовых перевозок по видам транспорта, а также обоснована необходимость введения нового показателя «объём инвестиций в инфраструктуру по видам транспорта».

Ключевые слова: ЦУР, устойчивое развитие, инфраструктура, транспортная инфраструктура, объём пассажирских перевозок, объём грузовых перевозок, объём инвестиций в инфраструктуру.

Для цитирования: Саргина А. В., Седова Н. В. Отслеживание доступности показателей по ЦУР 9.1 по транспортной инфраструктуре на примере стран-участников G20 // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 102–109. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-12>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Реализация повестки устойчивого развития на период до 2030 года с обновлёнными целями началась 1 января 2016 года¹. Транспорт играет важную роль в её реализации. Существует ряд целей устойчивого развития (далее – ЦУР), непосредственно связанных с транспортом, включая ЦУР 9 (устойчивая инфраструктура) и ЦУР 11 (устойчивые города). Кроме того, устойчивый транспорт позволяет реализовать почти все ЦУР через обеспечение связности и доступности территорий.

Цель номер 9 «Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям» включает восемь задач и 12 показателей. Европейская экономическая комиссия ООН (далее – ЕЭК ООН) предлагает специальный раздел на своём веб-сайте для свободного доступа пользователей к данным по реализации ЦУР [1]. По ЦУР 9 отслеживаются 10 из 12 показателей по 56 странам. Данные по показателям 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги» и 9.1 «Общая официальная международная поддержка инфраструктур» отсутствуют. Анализ описания метаданных показывает, что единицы измерения и классификация по этим показателям также отсутствуют [2].

К транспорту в ЦУР 9 относится задача 9.1 «Развивать качественную, надёжную, устойчивую и стойкую инфраструктуру, включая региональную и трансграничную инфраструктуру, в целях поддержки экономического развития и благополучия людей, уделяя особое внимание обеспечению недорогого и равноправного доступа для всех» и, соответственно, показатели 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги» и 9.1.2 «Объёмы пассажирских и грузовых перевозок, по видам транспорта».

Для улучшения понимания и знания ЦУР, связанных с транспортом, отдел устойчивого транспорта ЕЭК ООН в 2017 году провёл три семинара. Эти семинары позволили участникам связать достижение ЦУР с национальной транспортной политикой, получить информацию о статистических инструментах для точного измерения и мониторинга реализации ЦУР. В 2016 и 2021 годах были проведены Глобальные конференции по устойчивому транспорту, также регулярно проводятся тематические конференции и семинары.

Последовательное измерение, мониторинг целей, задач и показателей является одной из основных задач реализации повестки устойчи-

вого развития. Мировым академическим сообществом в рамках ЦУР в транспорте исследуются сельский транспорт и подходы к измерению доступности транспорта в сельской местности (на основании данных геоинформационных систем), методики расчёта показателей на уровне страны и города, доступность городской транспортной инфраструктуры, количественная оценка экологических и социальных последствий ЦУР 9.1, устойчивость портовой инфраструктуры и другие актуальные вопросы [3–12].

Цель исследования – рассмотреть доступность показателей транспорта 9.1.1. и 9.1.2. в ЦУР 9 на примере стран-участников G20, а также оценить полноту данных, предоставляемых странами.

Информационно-эмпирическая база доклада представлена данными ЕЭК ООН и Росстата. *Метод исследования* – обработка эмпирических данных, сравнительный анализ и классификация.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ измеряемых показателей

ЦУР 9 в части транспорта отслеживает два показателя: 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги» и 9.1.2 «Объёмы пассажирских и грузовых перевозок, по видам транспорта». База данных ЕЭК ООН не содержит информации по показателю 9.1.1. Показатель 9.1.2 отслеживается по каждому виду перевозок отдельно. По состоянию на октябрь 2022 года доступны следующие данные:

- (а) Объём грузоперевозок (железнодорожный транспорт).
- (б) Объём грузоперевозок (автомобильный транспорт).
- (в) Объём грузоперевозок (внутренний водный транспорт).
- (г) Объём пассажирских перевозок (легковые автомобили).
- (д) Объём пассажирских перевозок (железнодорожный транспорт).

В то же время, словарь транспортной статистики (Glossary for transport statistics), составленный в результате кооперации ЕЭК ООН, Международного транспортного форума и Евростата содержит определения множества показателей по разделам «железнодорожные перевозки, автомобильный транспорт, внутренний водный транспорт, морской транспорт, воздушный транспорт» [14]. Анализ описания метаданных показывает, что основными поставщиками данных являются Международная организация гражданской авиации (ИКАО); Международный транспортный форум (МТФ); Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН);

¹ Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Электронный ресурс]: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Доступ 10.10.2022.



Конференция ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД) [2]. Для целей мониторинга объёма пассажирских и грузовых перевозок данные о пассажиро-километрах должны распределяться между авиационным, автомобильным (с разбивкой на легковые автомобили, автобусы и мотоциклы) и железнодорожным транспортом, а тонно-километры – между авиационным, автомобильным, железнодорожным и внутренним водным транспортом.

Согласно тематическому обзору Политического форума высокого уровня по устойчивому развитию (High-level Political Forum on sustainable development) от 2017 года инвестиции в инфраструктуру и технологии, которые одновременно снижают временные и трудовые затраты, сокращают выбросы углерода и создают рабочие места, являются ключевыми для достижения ЦУР 9 [15]. Мы не рассматриваем другие виды инфраструктуры в рамках нашего исследования, однако стоит отметить, что инвестиции в инфраструктуру в целом, и в транспорт, в частности, имеют потенциал для поддержки экономического роста. Существуют значительные различия в доступе к инфраструктуре, например, около трети населения мира не имеет круглогодичных дорог. Большая часть обсуждений и инициатив сосредоточены на крупномасштабной инфраструктуре. При этом требованиям инфраструктуры «последней мили», например, сокращению неравенства между городом и деревней в плане качества и доступа, а также поддержке местных продовольственных систем (в отличие от укрепления инфраструктурных основ продовольственных цепочек, ориентированных на экспорт или крупные городские рынки), уделяется ограниченное внимание. Этот перекос также подтверждается отсутствием данных по показателю 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги».

В научном сообществе вопрос измерения показателя 9.1.1 исследуется достаточно давно. Сам показатель по доступности в 2 км был принят в ЦУР на основе показателя, разработанного в 2006 году Всемирным банком.

Ликвидация инфраструктурных диспропорций потребует значительных инвестиций. По данным института Маккинзи, глобальный инфраструктурный разрыв в инвестициях до 2035 года во всём мире оценивается в размере 5,5 триллионов долларов США без учёта дополнительных инвестиций, необходимых для реализации ЦУР [16]. В связи с этим особенно важно разработать и внедрить финансовые инструменты для управления и инвестирования в инфраструктурные проекты, а также отслеживания эффективности их использования. Особое внимание необходимо уделить последова-

тельности инвестиций, чтобы максимально эффективно использовать ограниченные государственные ресурсы и открыть новые возможности для участия частного сектора в заполнении пробелов. Частный сектор через хорошо структурированные государственно-частные партнёрства может обеспечить важный вклад в финансирование инфраструктуры. Обеспечение защиты общественных интересов при достижении целей развития требует пристального внимания. Усилия в этом направлении могут быть поддержаны использованием соответствующих стандартов, включая стандарты по проведению предпроектного анализа инвестиционных проектов по транспортной инфраструктуре, проведению постпроектной оценки реализованных инфраструктурных проектов, а также стандарты по иерархии показателей транспортной инфраструктуры по видам транспорта.

С учётом важности отслеживания объёма пассажирских и грузовых перевозок по всем видам транспорта, а также критичности вопроса инвестиций в инфраструктуру, предлагаем рассмотреть возможность:

1. Добавить в показатели 9.1.2:
 - Объём грузоперевозок (морской транспорт).
 - Объём грузоперевозок (воздушный транспорт).
 - Объём пассажирских перевозок (внутренний водный транспорт).
 - Объём пассажирских перевозок (морской транспорт).
 - Объём пассажирских перевозок (воздушный транспорт).
2. Ввести дополнительный показатель (например, 9.1.3) «объём инвестиций в инфраструктуру по видам транспорта»:
 - Объём инвестиций в инфраструктуру (железнодорожный транспорт).
 - Объём инвестиций в инфраструктуру (автомобильный транспорт).
 - Объём инвестиций в инфраструктуру (внутренний водный транспорт).
 - Объём инвестиций в инфраструктуру (морской транспорт).
 - Объём инвестиций в инфраструктуру (воздушный транспорт).

Определение эффективности использования инвестиций в транспортную инфраструктуру является комплексной методологической задачей и может быть исследовано в дальнейшем.

Анализ доступности данных

В базе данных показателей по реализации ЦУР ЕЭК ООН представлены данные по 56 странам. В списке 43 стран в базе отсутствуют участники

G20: Аргентина, Австралия, Бразилия, Индия, Индонезия, Китай, Мексика, Саудовская Аравия, ЮАР, Южная Корея и Япония, по остальным странам данные доступны в различной детализации [1]. По Австралии доступна информация по виду транспорта по грузовым перевозкам за 2014–2016 гг. и по пассажирским перевозкам за 1999–2016 до 2016 г. на отдельной платформе отчётности правительства Австралии по показателям ЦУР (Australian Government's Reporting Platform on the SDG Indicators) [17].

Мы проанализировали наличие данных по показателям 9.1.2 за 2016–2020 гг. (данные по 2021 и 2022 гг. на момент написания статьи отсутствовали) по 32 странам. В табл. 1 представлена доступность и полнота данных по отслеживаемым показателям в разрезе каждой из стран. Дополнительное изучение данных по Российской Федерации и Мальте показало, что по Мальте данных нет изначально (с 2000 г., когда начался сбор), по Российской Федерации данные в различной полноте есть за период с 2000 по 2013 гг., начиная с 2014 года данные отсутствуют.

На основании имеющихся данных мы рассчитали индекс полноты данных для каждой страны по показателям ЦУР 9.1.2 и сгруппировали результаты по пяти группам (табл. 2).

Полные данные есть по Хорватии, Чехии, Финляндии, Франции, Венгрии; по Италии отсутствуют данные по объёму грузоперевозок (внутренний водный транспорт) за 2021 г. Эти страны отнесены к Группе 1. В группе 2 у всех стран, кроме Германии и Латвии отсутствуют данные по объёму пассажирских перевозок (легковые автомобили). По Латвии отсутствуют данные по объёму грузоперевозок внутренним водным транспортом; однако, по материалам Комитета по внутреннему транспорту ЕЭК ООН от 28 июля 2003 на шестьдесят пятой сессии был поднят вопрос о проекте «Транзитный путь Даугава (Западная Двина)–Днепр», соединяющем Балтийское и Чёрное моря [18]. По состоянию на 2022 г. проект не был инициирован. Это позволяет предположить, что вместо отсутствующих данных должны стоять нули, что позволило бы перенести Латвию в Группу 1 со 100 % предоставлением данных. Однако ввиду того, что основой для анализа является статистическая информация из баз данных ЕЭК ООН, мы не считаем правильным переносить страну в другую группу. Возможно, стоит внести дополнительные методические пояснения к описанию метаданных, на предмет того, как отображать данные, если они неприменимы к стране.

Отдельно остановимся на показателе объёма пассажирских перевозок легковыми автомобилями (пассажирские перевозки по национальной территории легковыми автомобилями, зарегистрированными в отчитывающейся стране), измеряемом в пассажиро-километрах на легковой автомобиль [1]. Из 32 стран восемь имеют частичные и восемь полные данные, по 16 странам информация отсутствует. Такое значительное отсутствие данных может быть связано с особенностями сбора данных на национальном уровне: данные могут быть либо неполные, либо отсутствовать в системах статистического учёта стран.

Анализ доступности данных по Российской Федерации

По Российской Федерации данные в базе ЕЭК ООН с 2014 года отсутствуют. При этом данные по перевозкам регулярно публикуются Росстатом. Таким образом, несмотря на наличие данных, они либо не актуализируются (последние данные 2013 года на страницах <https://w3.unesc.org/SDG/en/Indicator?id=89> и др.) или не отображаются в базе данных ЕЭК ООН по ЦУР, которая в свою очередь ссылается на базу данных UNECE Transport Division Database. При этом на информационном ресурсе ЕЭК ООН содержится ссылка на национальную платформу данных по ЦУР, которая ведет на соответствующую англоязычную страницу Росстата² [19].

Росстат, на основании Распоряжения Правительства Российской Федерации от 6 июня 2017 года № 1170-р, отвечает за официальную статистическую информацию по показателям достижения ЦУР. В разделе «Цели устойчивого развития» на сайте Росстата содержатся общие сведения о ЦУР, подробный перечень показателей с актуальным статусом их разработки и метаданные.

В части реализации и мониторинга ЦУР 9 доступны девять показателей [20]:

1. Грузооборот по видам транспорта, млрд т•км (по всем видам транспорта, отдельно по автомобильному, железнодорожному, внутреннему водному, морскому, воздушному, трубопроводному).

2. Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования, млрд пассажиро-км.

3. Плотность железнодорожных путей общего пользования на 10 000 км² территории, км (по всем видам транспорта, отдельно по железнодорожному,

² [Электронный ресурс]: <https://eng.rosstat.gov.ru/sdg>. Доступ 13.03.2023.



Доступность и полнота данных с 2016 года на сайте

	9.1.2 – Объем перевозок грузов железнодорожным транспортом, т*км					9.1.2 – Объем перевозок грузов автомобильным транспортом, т*км				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Хорватия	2160	2592	2743	2911	3279	11337	11833	12635	12477	12254
Чехия	15619	15843	16564	16180	15251	50315	44274	41073	39059	56090
Финляндия	9455	10362	11175	10270	10138	26852	27977	28413	28847	29705
Франция	34761	35655	34061	33671	31559	157894	170355	171495	173846	170015
Венгрия	10528	11053	10584	10625	11595	40006	39687	37948	36951	32223
Италия	22394	22335	22070	21309	20750	112639	112949	124915	137986	133255
Германия	112553	119883	122728	122805	108405	315769	313143	316766	311869	304610
Литва	13790	15414	16885	16181	15865	30974	39099	43590	53117	55292
Австрия	21361	22256	21996	21736	20498	18091	18400	18594	18905	18732
Нидерланды	6641	6467	7026	7018	6665	67785	67532	68906	68336	67592
Польша	50650	54797	59388	54584	51096	290749	335220	315874	348952	354926
Великобритания	17053	17167	17206	16872	15212	159555	158410	163764	165499	145520
Болгария	3434	3931	3824	3902	4503	35402	35185	27002	20614	32566
Латвия	15873	15014	17859	15019	7979	14227	14972	14997	14965	13705
Румыния	13535	13782	13076	13312	12291	48175	54704	58761	61041	55026
Словакия	9111	8486	8691	8480	7268	36106	35362	35590	33888	31591
Дания	2574	2653	2594	2524	2450	15956	15515	14989	14991	14685
Швеция	21406	21838	23358	22717	22094	42685	41848	43474	42601	43183
Турция	11010	11851	13734	..	15571	253139	262739	..	..	272913
Португалия	2774	2751	2765	2478	2402	34684	34073	32676	31087	24402
Эстония	2340	2325	2595	2155	1729	6717	6189	5783	4794	4281
Словения	4360	5128	5151	5292	4726	18714	20814	22225	..	22662
Испания	10550	10418	10650	10710	8920	216993	231105	238991	249555	242265
Канада	395889	423664	448319	451277	420233	294716	299858	269285	..	..
Ирландия	102	100	88	72	..	11564	11759	11537	12403	11383
Бельгия	..	..	..	..	..	35579	34219	32684	34829	34506
Греция	254	358	408	490	..	20903	..	..	..	..
США	2326216	2445138	..	..	..	..	..	..	..	..
Кипр	..	..	..	..	..	703	828	892	858	709
Люксембург	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Мальта	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Российская Федерация	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Источник: составлено авторами на основании данных ЕЭК ООН [1].

ЕЭК ООН по отслеживаемым показателям ЦУР 9.1.2

9.1.2 – Объем перевозок грузов (внутренний водный транспорт), т*км					9.1.2 – Объем перевозок пассажиров легковым автотранспортом, млн пасс*км					9.1.2 – Объем перевозок пассажиров железнодорожным транспортом, млн пасс*км				
2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
836	813	678	835	903	26181	26189	25594	25372	20215	836	745	756	734	449
36	25	23	32	18	72255	74327	77971	81179	68936	8843	9498	10286	10931	6665
103	120	120	122	127	57006	66607	66800	66800	64100	3868	4271	4535	4924	2820
8135	7311	7089	7855	6806	783085	789372	786793	779810	629846	91832	95024	91818	96540	56606
1976	1992	1608	2120	1998	57354	60645	63947	67034	63921	7653	7731	7770	7752	4854
67	61	74	69	..	704542	744919	722894	732429	488299	52178	53231	55493	56586	22269
54347	55518	46901	50919	46338	952332	922738	921900	899577	809319	94197	95530	98161	..	..
0	0	0	0	0	25854	31361	30119	..	..	280	315	354	359	237
1962	2022	1489	1715	1606	80444	81795	..	..	..	12578	12657	13205	13350	7417
49399	48998	47244	47581	45184	..	138700	..	..	..	18531	18438	18895	19353	9164
105	108	119	84	77	213318	..	..	..	..	19175	20318	21043	22055	12487
108	99	93	187	87	667526	..	..	..	..	68010	68912	69706	1978	25074
5477	5280	4858	5867	6256	..	..	..	..	..	1458	1438	1479	1524	1119
..	..	..	..	..	13899	14979	15257	15501	14775	584	596	624	643	413
13153	12517	12261	13957	13638	..	..	..	..	..	4988	5664	5577	5906	3720
903	933	778	937	834	..	..	..	..	..	3595	3873	3915	4093	2180
..	..	..	..	..	58781	59736	60417	..	58226	6119	6061	5939	5913	3755
..	..	..	..	79	..	..	..	..	..	12800	13331	13547	14617	8129
..	..	..	..	..	213853	..	229439	240517	215296	4325	4567	5560	14259	8297
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	4146	4391	4487	4964	2552
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	316	366	417	392	263
..	..	..	..	..	..	10213	..	..	..	680	650	656	698	397
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	26532	27381	28442	28847	12060
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1409	1561	2055	1729	235
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2173	2306	2598	2704	..
10331	11098	11357	7819	7388	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1192	1112	1104	1253	640
445280	..	..	..	..	..	..	..	..	..	35828	33259	31963	32483	..
..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	417	438	443	463	269
..
..



Группировка стран по индексу полноты данных с 2016 года в базе ЕЭК ООН

Группа	Страны	Индекс доступности данных, %	Кол-во отсутствующих показателей
1	Хорватия, Чехия, Финляндия, Франция, Венгрия, Италия	96–100	0
2	Германия, Латвия, Австрия, Нидерланды, Польша, Великобритания, Болгария, Латвия, Румыния, Словакия	80–95	1
3	Дания, Швеция, Турция, Эстония, Словения, Испания, Португалия	60–79	2
4	Канада, Ирландия, Бельгия, Греция, США, Кипр, Люксембург	20–59	3
5	Мальта, Российская Федерация	0	5

Источник: составлено авторами на основании данных ЕЭК ООН [1].

морскому, внутреннему водному, воздушному, по перевозкам автобусами, трамваями, троллейбусами, метро).

4. Плотность автомобильных дорог общего пользования с твёрдым покрытием на 1000 км² территории, км.

5. Доля автомобильных дорог регионального значения, соответствующих нормативным требованиям, % (не ранее 2024 года планируется уточнить показатель, как «доля автомобильных дорог регионального значения, входящих в опорную сеть...»).

6. Доля автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения, соответствующих нормативным требованиям.

7. Общая протяжённость автомобильных дорог местного значения.

8. Доля автомобильных дорог местного значения, соответствующих нормативным требованиям.

9. Индекс качества транспортной инфраструктуры к уровню 2017 года.

Не ранее апреля 2023 года ожидалось начало публикации данных еще по одному показателю: «Доля транспортных средств в городских агломерациях (автобусы, трамваи, троллейбусы, пригородный железнодорожный подвижной состав), обновленных в рамках федерального проекта «Модернизация пассажирского транспорта в городских агломерациях» и имеющих срок эксплуатации не старше нормативного».

Показатели по грузообороту и пассажирообороту по видам транспорта содержат данные с 2010 по 2021 гг. Таким образом, данные есть в системе Росстата, но отсутствуют в базе данных ЕЭК ООН.

Следует отметить, что перечень показателей, учитываемых в России, гораздо шире официального списка ООН и содержит более детальную статистическую информацию по железнодорожным путям и автомобильным дорогам, а также индекс качества транспортной инфраструктуры, рассчитываемый с 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используемые для отслеживания выполнения ЦУР 9.1 показатели ЕЭК ООН являются неполными. Их целесообразно расширить, чтобы охватить все виды транспорта, а также дополнить показателями объёма инвестиций в инфраструктуру по виду транспорта. Мы предлагаем расширить список следующими десятью показателями:

1. 9.1.2 Объём грузоперевозок (морской транспорт).

2. 9.1.2 Объём грузоперевозок (воздушный транспорт).

3. 9.1.2 Объём пассажирских перевозок (внутренний водный транспорт).

4. 9.1.2 Объём пассажирских перевозок (морской транспорт).

5. 9.1.2 Объём пассажирских перевозок (воздушный транспорт).

6. 9.1.3 (а) Объём инвестиций в инфраструктуру (железнодорожный транспорт).

7. 9.1.3 (б) Объём инвестиций в инфраструктуру (автомобильный транспорт).

8. 9.1.3 (с) Объём инвестиций в инфраструктуру (внутренний водный транспорт).

9. 9.1.3 (д) Объём инвестиций в инфраструктуру (морской транспорт).

10. 9.1.3 (е) Объём инвестиций в инфраструктуру (воздушный транспорт).

Отсутствие данных в базе ЕЭК ООН не означает, что страна не рассчитывает указанные показатели. На примере Российской Федерации мы показали, что данные присутствуют в национальной статистической отчётности, причём в более развёрнутом варианте. Не исключено, что такая ситуация присутствует и в отношении ряда других стран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Недостаточное развитие транспорта приводит к повышению торговых издержек, снижению конкурентоспособности экспорта и привлекательности страны для инвестиций. Развивать качественную, надёжную, устойчивую и стойкую инфраструктуру невозможно без отслеживания показателей по всем

видам транспорта и оценки объёма инвестиций в транспортную инфраструктуру. Количество показателей, отслеживаемых в базе ЕЭК ООН по ЦУР 9 недостаточно и его необходимо расширить. Каждая страна может принимать решение, включать или нет показатели на уровне страны и передавать ли по ним данные, однако неполнота данных не позволяет оценивать сравнительную динамику по реализации поставленных целей и задач.

Расширение и унификация показателей для всех стран даст более чёткое понимание по прогрессу в части реализации поставленных целей и задач по каждому виду транспорта, а также предоставит сравнительную основу для принятия решений в части приоритетных направлений инвестиций в транспортную инфраструктуру.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Панель данных по ЦУР. ЕЭК ООН. [Электронный ресурс]: <https://w3.unece.org/SDG/ru>. Доступ 14.10.2022.
2. SDG Indicators. Metadata repository. [Электронный ресурс]: SDG Indicators – SDG Indicators (un.org). Доступ 08.11.2022.
3. Workman, R., McPherson, K. Measuring rural access for SDG 9.1.1. Transactions in GIS. [Электронный ресурс]: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/tgis.12721> Доступ 08.11.2022.
4. Cook, J. Engineering Geology Research and Rural Access in Support of United Nations Sustainable Development Goals. In: Shakoор, A., Cato, K. (Eds.) IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, Springer, Cham., 2018, Vol. 6. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93142-5_3.
5. Xu, J., Bai, J., Chen, J. An improved indicator system for evaluating the progress of sustainable development goals (SDGs) sub-target 9.1 in county level. Sustainability, 2019, Vol. 11 (17), 4783. [Электронный ресурс]: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4783>. Доступ 08.11.2022.
6. Meira, L. H. [et al]. Measuring the Impact of Brazilian Transport Systems on the 2030 Agenda Goals. Journal of Sustainable Development, 2021, Vol. 14 (2). DOI: <https://doi.org/10.5539/jsd.v14n2p82>.
7. Mehta, S. Innovation, industry and infrastructure within sustainable development goals: analysis of emerging Asian economies. Sustainability a way forward. Ed. Mor S. Bloomsbury. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Surender-Mor/publication/359188001_Sustainability_A_Way_Forward/links/623f17965e2f8c7a033dd1bd/Sustainability-A-Way-Forward.pdf#page=68. Доступ 08.11.2022.
8. Azemsha, S., Yasinskaya, V., Hryshchanka, T. Sustainable development in Belarus: Goals for transport and universal access indicator movements. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2020, Vol. 5 (2), pp. 37–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.14254/jsdtl.2020.5-2.4>.

9. Sieber, N. [et al]. Scoping Study to Explore the Suitability of SDG Indicator 9.1.2 for Rural Access Project, Final Report GEN2173A, London, ReCAP for DFID, 2019. [Электронный ресурс]: <https://research4cap.org/ral/Sieberetal-2020-ScopingStudySuitabilitySDGIndicator912-FinalReport-ReCAP-GEN2173A-200305.pdf>. Доступ 08.11.2022.

10. Alamoush, A. S., Ballini, F., Ölçer, A. I. Revisiting port sustainability as a foundation for the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs). Journal of Shipping and Trade, 2021, Vol. 6, Iss. 19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-021-00101-6>.

11. Brussel, M., Zuidgeest, M., Pfeffer, K., van Maarseveen, M. Access or Accessibility? A Critique of the Urban Transport SDG Indicator. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, Vol. 8 (2), p. 67. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8020067>.

12. Leonie, W. [et al]. Road to glory or highway to hell? Global road access and climate change mitigation. Environmental Research Letters, 2020, Vol. 15 (7), 5010. [Электронный ресурс]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab858d/meta>. Доступ 08.11.2022.

13. Meschede, C. Information dissemination related to the Sustainable Development Goals on German local governmental websites. Aslib Journal of Information Management, 2019, Vol. 71 (3), pp. 440–455. DOI: <https://doi.org/10.1108/AJIM-08-2018-0195>.

14. Glossary for Transport Statistics, 5th ed. European Union/ United Nations/ITF/OECD, 2019. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/10013293/KS-GQ-19-004-EN-N.pdf/b89e58d3-72ca-49e0-a353-b4ea0dc8988f?_t=1568383761000. Доступ 14.10.2022.

15. 2017 HLPF Thematic Review of SDG-9: Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation. [Электронный ресурс]: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/documents/14363SDG9format-revOD.pdf>. Доступ 17.10.2022.

16. Bridging infrastructure gaps: Has the world made progress? [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/bridging-infrastructure-gaps-has-the-world-made-progress>. Доступ 14.10.2022.

17. Australian Government's Reporting Platform on the SDG Indicators. [Электронный ресурс]: Sustainable Development Goals (sdgdata.gov.au). Доступ 08.11.2022.

18. Обмен информацией о мерах, направленных на стимулирование перевозок по внутренним водным путям. Комитет по внутреннему транспорту Европейской Экономической Комиссии ООН. 28 July 2003 TRANS/SC.3/2003/13. [Электронный ресурс]: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/documents/14363SDG9format-revOD.pdf>. Доступ 14.10.2022.

19. UNECE Statswiki. [Электронный ресурс]: <https://statswiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=396329050>. Доступ 13.03.2023.

20. Национальный набор показателей ЦУР, Росстат. [Электронный ресурс]: <https://eng.rosstat.gov.ru/sdg/national>. Доступ 13.03.2023. ●

Информация об авторах:

Саргина Анна Валериевна – соискатель, кафедра национальной и региональной экономики ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», EMBA Kingston University, Лондон, Великобритания, бизнес-архитектор, практика корпоративных систем, АО «Рамакс Интернетешнл», Москва, Россия, anna.sargina@mail.ru.

Седова Надежда Васильевна – д.э.н., профессор кафедры национальной и региональной экономики ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», Москва, Россия, nadseva@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.11.2022, актуализирована 13.03.2023, одобрена после рецензирования 15.03.2023, принята к публикации 17.03.2023.





Новые подходы к повышению защищённости городской среды от транспортных аварий на основе использования безопасных материалов



Эдуард ЦХОВРЕБОВ

Эдуард Станиславович Цховребов

Центр ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, Москва, Россия.

✉ rebrovstanislav@rambler.ru.

АННОТАЦИЯ

Актуальность проблем безопасности применяемого в городском хозяйстве широкого спектра противогололёдных материалов и химических антигололёдных реагентов предопределена рядом аспектов и факторов, связанных с негативным воздействием антигололёдной продукции на природную среду, имущество и здоровье граждан, её недостаточной эффективностью в плане обеспечения транспортной безопасности, предупреждением причин, условий возникновения транспортных аварий, ростом травматизма населения в зимний период.

Целью исследования послужило изучение возможности применения практически неопасных для окружающей среды золошлаковых смесей совместно с органическими добавками из растительных отходов в качестве комплексных антигололёдных материалов. Основными задачами работы определены: сравнительный анализ эффективности и безопасности используемых противогололёдных материалов, обоснование возможности замены на золошлаковое вторичное

сырьё, оценка сложившейся ситуации с обращением золошлаковых отходов, технической возможностью, экологической допустимостью, экономической целесообразностью их повторного применения в обозначенном качестве на объектах дорожно-транспортной инфраструктуры.

Достижимыми результатами проведённого исследования служат: снижение техносферной нагрузки на природную среду, предупреждение всех видов негативного воздействия на здоровье граждан, их личное имущество, замена ценного природного сырья – вторичным, предупреждение возникновения транспортных аварий и связанных с ними чрезвычайных ситуаций техногенного характера. По итогам исследования планируется провести натурные исследования и, в случае получения положительных результатов, определяющих безопасность и результативность использования нового противогололёдного материала, оформить патент на изобретение с дальнейшим внедрением инновационного предложения в различных регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: экологическая безопасность, транспортные аварии, противогололёдный материал, химический реагент, золошлаковые отходы и сырьё, городское хозяйство, ресурсосбережение, чрезвычайные ситуации.

Для цитирования: Цховребов Э. С. Новые подходы к повышению защищённости городской среды от транспортных аварий на основе использования безопасных материалов // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-13>.

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

ВВЕДЕНИЕ

На значительной части территории Российской Федерации наиболее сложным в работе эксплуатационных организаций дорожно-транспортной инфраструктуры является зимний период. Уровень безопасного для участников дорожного движения состояния покрытия элементов улично-дорожной сети (УДС): тротуаров, проезжей части автодорог, подземных и наземных переходов, пешеходных зон в этот период определяются спектром дорожных, погодно-климатических, санитарно-гигиенических, экологических, транспортных и технологических факторов.

Одной из важнейших задач обеспечения транспортной безопасности, предупреждения транспортных аварий и травматизма населения служит построение четко организованной и эффективно управляемой системы мероприятий по мониторингу, прогнозированию, предупреждению, а также своевременной ликвидации зимней скользкости на УДС, включающей в себя: механическую уборку снеговых масс, применение твердых минеральных противогололедных материалов и жидких химических антигололедных реагентов в качестве химического метода разрушения льда и снега [1–3].

Многолетний отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют о том, что химические антигололедные реагенты служат достаточно эффективным средством борьбы с зимней скользкостью, но их применение влечёт за собой необходимость соблюдения рациональных технологических норм расхода, безопасных концентраций, техники безопасности и охраны труда, контроля и мониторинга уровня загрязнения окружающей среды. При работе с подобными химически опасными веществами гигиеническими требованиями регламентировано наличие специальной одежды и средств индивидуальной защиты глаз, кожи, органов дыхания [2–4].

Немаловажным ограничивающим фактором служит негативное механическое, химическое воздействие таких материалов на природные объекты и компоненты природной среды: запыление и выделение в разной степени токсичных соединений в атмосферный воздух, смыв и дальнейшее попадание в поверхностные, подземные водоисточники, на почву, воздействие на растительность, животный мир. По различным экспертным оценкам, содержание хлоридов в придорожных снего-

вых массах превышает ПДК более чем в 25 раз. Содержание хлористого натрия в водной среде в интервале 100–200 мг/л приводит к гибели некоторых видов растений, 200–500 мг/л – насекомых, пресмыкающихся, более 1 г/л – водных биологических ресурсов. Засоление воды и почвы является стрессовым фактором среды обитания флоры. Даже очень низкие концентрации солей (10–20 мг/л) оказывают негативное влияние на корневую систему. В зависимости от выносливости видов флоры засоление нарушает метаболизм растений, влияет на рост, размножение и расселение соответствующих видов. Негативные факторы образуют угрозы состоянию экологической безопасности населённых территорий, что, в свою очередь, диктует необходимость выделения дополнительных финансовых затрат на мониторинг, предупреждение, ликвидацию опасного воздействия противогололедных материалов [5; 6].

Учитывая сложившуюся ситуацию, в работе исследованы экологическая допустимость, экономическая целесообразность, техническая возможность замены применяемых противогололедных материалов на продукты переработки золошлаковых смесей, образующихся при сжигании твердого угольного топлива на теплоэлектростанциях (ТЭС), ТЭЦ, в котельных.

Предлагаемую идею использования золошлаковых отходов (ЗШО) для целей обеспечения безопасности дорожно-транспортной инфраструктуры, предупреждения транспортных аварий позволяет реализовать значительный объём накопившихся ЗШО в хранилищах энергетических предприятий. По состоянию на 2017 год количество накопленных ЗШО в нашей стране достигало 1,5 млрд тонн, занимаемая площади порядка 28000 га в виде открытых золошлакоотвалов, существенным образом загрязняющих водные и земельные ресурсы, атмосферный воздух, окружающую растительность. При этом их ежегодный выход оценивается экспертами в пределах 22–23 млн т, что даёт основание сделать вывод об актуальности повторного использования этих отходов в целях предупреждения негативного воздействия на окружающую среду. Означенная проблема продолжает оставаться одной из злободневных в топливно-энергетическом комплексе. Сложившаяся ситуация практически не улучшается: повторное применение ЗШО составляет около





Рис. 1. Планируемый результат от внедрения инновации [выполнено автором].

2,5 млн тонн в год (не более 10 % от годового количества их образования) [7–10; 13–15].

Анализ мировой практики переработки ЗШО свидетельствует о наличии разработок, связанных с применением золошлакового сырья в строительной индустрии, дорожном хозяйстве [11–14], однако сведений об использовании такого сырья в рассматриваемом формате не выявлено.

В пользу экономической целесообразности предлагаемой идеи выступает не только низкая стоимость золошлакового сырья в качестве товара. Замена традиционного сырья на основе невозобновляемого запаса полезных ископаемых вторичным сырьем из ЗШО способствует реализации стратегической цели устойчивого развития России на основе принципов ресурсосбережения и рационального использования природных ресурсов.

Таким образом, актуальность, новизна и практическая значимость проводимого исследования предопределена его идеей и замыслом по реализации ряда важнейших научно-практических задач. Планируемый результат от внедрения инновационного материала представлен на разработанной автором схеме (рис. 1).

Материалы и методы исследования

Материалами для проведения исследования послужили опубликованные труды учёных, специалистов, исследователей в области транспортной безопасности, предупреждения транспортных аварий, связанных с ними чрезвычайных ситуаций техногенного характера, практики применения твёрдых минеральных противогололёдных материалов и химических антигололёдных реагентов [1–4], в сфере обработки, повторного исполь-

зования ЗШО, органических веществ из растительного сырья и отходов [11–15], собственные результаты исследований в области обращения с отходами и вторичными ресурсами, в том числе, в ЖКХ и на транспорте, ресурсосбережения, экологической безопасности территорий [5–7].

Концепция настоящего исследования базируется на приоритетных направлениях государственной политики в области обращения с отходами, а также мониторинга, прогнозирования, предупреждения и своевременной ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, общепринятыми в мировом сообществе принципами: «Zero waste» (ноль отходов), «Circular Economy» (экономика замкнутого цикла) [16–20].

Методика исследования включает в себя сбор, обобщение, систематизацию, сравнительный и сопоставительный анализ данных в предметной области исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследования обобщены материалы по использованию в настоящее время в различных регионах России антигололёдных материалов и жидких химических антигололёдных реагентов. Установлено, что в составе минеральных противогололёдных материалов, как правило, применяются: кварцевый песок, дроблёный гранитный щебень фракции 2–5 мм, мраморная крошка, обеспечивающие улучшение сцепления колёс транспортных средств и подошвы обуви с дорожным покрытием в зимний скользкий период.

При этом существенной проблемой для коммунальных служб является засорение такими материалами УДС, водосборных решеток, ливневой канализации, а для участников дорожного движения – попадание фракций реагентов высокой твёрдости под действием центробежной силы колёсных пар в стекла транспортных средств, внешние покрытия, открытые участки тел прохожих с нанесением ущерба, соответственно, имуществу и здоровью граждан. В ряде случаев в сыпучих противогололёдных материалах выявляется повышенное содержание радионуклидов, создающее серьёзную опасность для жителей в процессе вдыхания при распылении в атмосферном воздухе и для биоресурсов природной среды – в результате смыва с поверхностными стоками в водные объекты и на почву.

Спектр в разной степени токсичных для здоровья человека и опасных для природной среды химических антигололёдных реагентов чрезвычайно широк и включает в себя: хлористый натрий технический, песчано-гравийный материал ПГМ на базе хлористого кальция и/или натрия, карбамиды, жидкие хлориды, бишофит (хлорид магния); комбинированные препараты: «Антиснег», «Нордикс-П» (на основе аммония ацетата), НКММ (карбамид, нитраты магния и кальция); ХКМ (хлориды магния и кальция) и другие. Также в состав реагентов входят добавки – модификаторы (ингибиторы коррозии).

Компоненты антигололёдных реагентов (хлориды кальция, магния, натрия) относятся к умеренно опасным соединениям в плане воздействия на человека (раздражающее действие на зрительные органы, кожные покровы при прямом контакте), третьему и четвёртому классам опасности по отношению к природной среде.

Накопление реагентов в придорожной полосе происходит не в поверхностном слое почвы, а на глубине до 60 см, достигая грунтовых вод и корневой системы растений. При отрицательных температурах и отсутствии стока реагенты интенсивно впитываются снегом и далее перебрасываются уборочными машинами в стороны от проезжей части на расстояние до 50 м. Часть не вступивших в реакции солей остаются на покрытии и с брызгами от машин, снегом, пылью переносятся ветром на значительное расстояние.

Интенсивным источником негативного воздействия на окружающую среду в радиусе десятков-сотен метров являются места складирования песко-соляных смесей, в большинстве случаев представляющие открытые для воздействия погодноклиматических факторов площадки, с отсутствием обваловки, сбора и очистки загрязнённых поверхностных вод.

Реагенты на неорганической основе оказывают агрессивное воздействие на металлические конструкции дорожно-транспортных сооружений, покрытие транспортных средств, особенно в условиях активизации атмосферной коррозии. По результатам ряда исследований, наиболее высокой коррозионной активностью обладает комбинированный реагент с ингибиторами коррозии в составе соли технической (галита), раствора бишофита (хлорида магния). На скорость коррозии

влияют вид и материал коррозируемой поверхности, концентрации окислителя, различных примесей в самом покрытии транспортных средств, дорожных конструкций и устройств, уровня температуры и влажности воздуха, интенсивности осадков. Отрицательное влияние реагентов на автотранспортные средства, в основном, приводит к отказу электроники, деструкции, помутнению, ржавлению покрытия, коррозии дисков, выхлопных труб, преждевременному износу тормозных колодок.

Содержащие соединения кальция, калия реагенты под воздействием низких температур и ветра образуют скользкую поверхность на проезжей части автодороги, увеличивая тормозной путь и создавая повышенную аварийность. Следы реагентов данной группы отчётливо наблюдаются на обуви, срок её службы уменьшается до одного-двух зимних сезонов.

Особенно уязвима для токсичного воздействия химических реагентов фауна. Наиболее опасным является поедание животными и птицами загрязнённого снега с токсичными реагентами: материалами и веществами. Представляет не меньшую опасность как длительное, так и кратковременное взаимодействие чувствительной кожи, особенно домашнего животного, с загрязнёнными снеговыми массами или льдом. Означенные воздействия вызывают заболевания кожной, пищеварительной систем животных, зрения и обоняния, могут привести к летальным исходам.

Нанесение ущерба здоровью и имуществу граждан в результате негативного воздействия токсичных высококоррозионных химических антигололёдных реагентов, вызывает массовое объективное недовольство, жалобы, приводит к судебным искам. Органы экологического и санитарно-эпидемиологического надзора регулярно привлекают к административной ответственности дорожные эксплуатирующие организации за нарушение правил обращения с опасными антигололёдными реагентами, создающими реальную угрозу здоровью людей и природе.

Изложенное выше даёт основание утверждать, что существует необходимость разработки новых безопасных противогололёдных материалов, не оказывающих негативного влияния на здоровье людей, природные объекты, но реализующих в достаточной степени



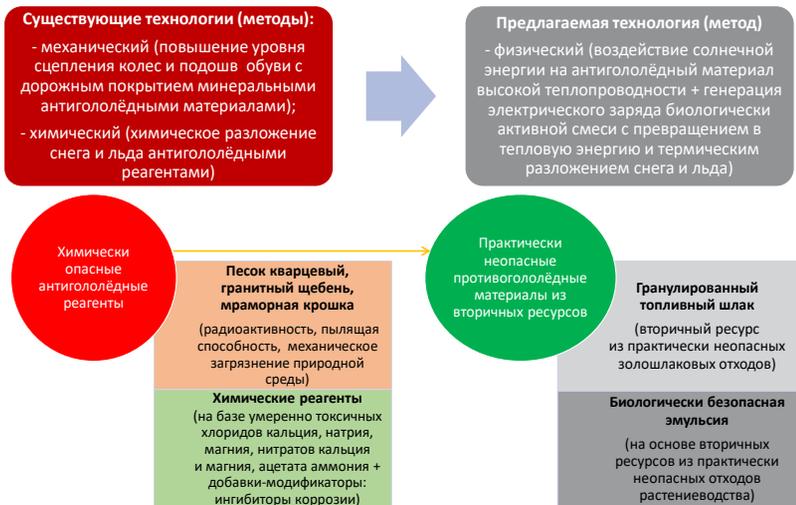


Рис. 2. Научно-практическая новизна предлагаемого метода (технологии) [выполнено автором].

эффективную защиту от скользкости на УДС и, в конечном счёте, повышающих уровень транспортной и экологической безопасности.

Научно-практическая новизна идеи: в целях замены экологически, санитарно-гигиенически опасных химических методов разрушения льда и снега разработан безопасный физический метод ликвидации скользкости УДС, основанный на использовании солнечной энергии, физических свойств и характеристик вторичных ресурсов из практически неопасных отходов – гранулированных топливных шлаков и биологических органических соединений отходов аграрно-промышленного комплекса.

Проведённое исследование показало, что используемые в настоящее время твёрдые противогололёдные материалы на основе природных ископаемых (песок, дробленая крошка различных скальных пород, каменные соли) по своим технико-эксплуатационным характеристикам и свойствам (истинная плотность, твёрдость, прочность на сжатие) схожи с материалами на основе вторичных ресурсов, получаемых из золошлаковых отходов. При этом соотношение по теплоёмкости, с учётом шкалы цветности, существенно в пользу вторичного сырья из ЗШО, что способствует более высокой интенсивности таяния льда в солнечную погоду. Более того, такое вторичное сырьё, полученное в процессе раздельного сбора, изолированного накопления, обработки ЗШО (измельчения, дробления, складирования определённым образом), в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов, является практически не

опасным для природной среды и её компонентов. Среди характеристик материала следует отметить следующие: плотность шлака сжигания каменного угля и антрацита – 1700–1990 кг/куб. м, россыпью – от 980 кг/куб. м; удельная поверхность – 4000–6700 см²/г, повышенную водопотребность. Покрытие дорожного полотна предлагаемым антигололёдным материалом с помощью специализированных транспортных средств осуществляется с технологической точки зрения аналогично распространению ныне применяемых минеральных материалов, поэтому изменения технологий хранения, покрытия, последующего сбора и повторного использования на улично-дорожной сети в данном случае не требуется. Его размеры рассчитаны таким образом, чтобы при максимальной для данного города величине силы ветра моделируемый вес частиц антигололёдного материала позволял предотвратить запыление окружающей среды.

Однако не все зимние и поздние осенние дни характеризуются солнечной погодой. Такая погода характерна для большинства регионов нашей страны. В этом случае теряется важное свойство нового антигололёдного материала – нагреваться под воздействием солнечных лучей и растапливать под воздействием температуры лёд и снеговые массы.

Для этого, при отрицательных температурах, дополнительным компонентом комплексного противогололёдного материала предлагается биодобавка, получаемая методом экстракции из специально обработанных растительных отходов на базе процессов

Ожидаемые эффекты от внедрения инновации [выполнено автором]

Виды эффектов	Описание эффекта
Экологический	Замена умеренно опасных компонентов противогололёдных реагентов на практически неопасные; ликвидация негативного воздействия химических антигололёдных реагентов на биоресурсы и компоненты природной среды: воздух, водные ресурсы, почвы, флору и фауну, а также механического воздействия – засорения водных объектов, почв, распыления в атмосфере твёрдых сыпучих противогололёдных материалов.
Санитарно-гигиенический изобретения:	Ликвидация негативного воздействия токсичных антигололёдных реагентов на здоровье людей. Применение неопасных для жизни и здоровья людей противогололёдных материалов из вторсырья.
Ресурсо-сберегающий	Использование практически неопасных остеклованных гранулированных шлаков от сжигания углей и отходов аграрно-промышленного комплекса в хозяйственном обороте в качестве ВМР. Возможность повторного применения отработанных противогололёдных материалов из топливных шлаков, в том числе в дорожном строительстве взамен традиционного природного сырья. Экономия невозобновляемых минеральных природных ресурсов: песка, скальных пород мрамора, гранита, технической воды для изготовления химических реагентов
Социальный	Снижение уровня травматизма населения от происшествий, связанных с зимней скользкостью, потоков жалоб граждан на ущерб здоровью и личному имуществу в результате негативного воздействия токсичных высококоррозионных химических антигололёдных реагентов, растущего недовольства населения по данной актуальной проблеме.
Экономический	Снижение на 20–30 % стоимости 1 т противогололёдных реагентов в зависимости от территориального расположения региона и золошлакоотвалов; снижение затрат эксплуатирующих УДС организаций и муниципальных бюджетов, связанных со штрафными санкциями, выставленными исками о возмещении ущерба компонентам природной среды в результате механического и химического загрязнения антигололёдными реагентами, имуществу граждан; уменьшение расходов, связанных с ремонтно-восстановительными работами загрязнённой ливневой канализации, приёмных решёток, заменой, покраской дорожно-транспортных объектов и устройств, подвергшихся коррозии.
Технико-технологический, сопряжённый с безопасностью	Увеличение в два-три раза скорости разрушения ледяного покрытия на УДС; отсутствие влияния на величину тормозного пути; снижение уровня транспортной аварийности, возможных сопутствующих чрезвычайных ситуаций техногенного характера

естественного биологического разложения и выделения тепловой энергии. Примером аналогичного действия могут служить процессы, происходящие при гниении сена, соломы, а также в навозе или птичьём помёте. При этом жидкая добавка нетоксична, практически не опасна, не издает неприятных запахов, её расход определен соответствующим количественным соотношением с распространяемым равномерно по территории улично-дорожной сети противогололёдным материалом на основе золошлаковых вторичных ресурсов. Состав биодобавки, количественные соотношения противогололёдного материала и биореагента зарегистрированы в качестве ноу-хау (секрета производства) во ВНИИ ГО ЧС (ФЦ).

Таким образом, предлагаемое инновационное решение позволяет перейти от затратных в большинстве своём и экологически опасных механико-химических методов борьбы с зимней скользкостью на физико-механические и биологические. Научно-

практическая идея отражена на разработанной автором принципиальной схеме (рис. 2).

Ожидаемые эффекты от внедрения предлагаемого инновационного метода (технологии) систематизированы в табл. 1.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе решены три исследовательские задачи. Во-первых, проведён системный анализ применяемых противогололёдных материалов и химических антигололёдных реагентов, который показал их опасность для окружающей среды и здоровья населения.

Во-вторых, предложен новый подход к повышению защищённости городской среды от транспортных аварий на основе использования безопасных материалов.

В-третьих, обоснованы возможность ресурсосберегающего подхода к созданию нового, экологически безопасного противогололёдного материала на основе повторного применения золошлаковых и органических





отходов взамен использования для этих целей природных ископаемых, допустимость замещения механического и химического способов борьбы с зимней скользкостью на экологически безопасный механико-физический.

По результатам работы с учётом проведения дополнительных лабораторно-инструментальных исследований планируется оформление патента на изобретение и формализация в виде ноу-хау.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самодурова Т. В. Оперативное управление зимним содержанием дорог: Научные основы: Монография. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2003. – 168 с. ISBN 5-9273-0323-4.

2. Кузнецов Ю. В. Проблемы контроля скользкости дорожных покрытий и пути их решения // Автомобильные дороги. – 2022. – № 8 (1089). – С. 117–118. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49341209>. Доступ 14.02.2023.

3. Нюдь А. С., Киряков Е. И. Существующие проблемы выявления и ликвидации зимней скользкости на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 2 (39). – С. 354–361. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/qbvckt>. Доступ 14.02.2023.

4. Самодурова Т. В., Андреев А. В. Исследование условий образования различных видов зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорог // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 5 (533). – С. 91–96. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18247865>. Доступ 14.02.2023.

5. Tskhovrebov, E., Velichko, E., Niyazgulov, U. Planning Measures for Environmentally Safe Handling with Extremely and Highly Hazardous Wastes in Industrial, Building and Transport Complex. Materials Science Forum, 2019, Vol. 945, pp. 988–994. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988.

6. Цховребов Э. С., Ниязгулов У. Д. Регулирование деятельности по обращению с отходами и вторичными ресурсами // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 1 (80). – С. 192–201. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-1-192-201.

7. Кожуховский И. С., Величко Е. Г., Цельковский Ю. К., Цховребов Э. С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. – № 6 (129). – С. 756–773. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.756-773.

8. Мальчик А. Г., Литовкин С. В. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9 (часть 1). – С. 23–27. [Электронный ресурс]: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7431>. Доступ 14.02.2023.

9. Цельковский Ю. К. Утилизация золошлаковых отходов угольных ТЭС (законодательные и нормативно-

технические документы): Учеб. пособие. – М.: ВТИ, 2014. – 63 с. [Электронный ресурс]: <https://masters.donntu.ru/2017/feht/metlina/library/article4.htm>. Доступ 14.02.2023.

10. Ефимов Н. Н., Яценко Е. А., Смолий В. А., Косарев А. С., Копица В. В. Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций // Экология промышленного производства. – 2011. – № 2. – С. 40–44. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16217499>. Доступ 14.02.2023.

11. Bredel, G. Tackling India's coal ash problem. Mining Engineering, 1995, Vol. 10, P. 51. [Электронный ресурс]: <https://me.smenet.org/abstract.cfm?preview=1&articleID=3636&page=21>. [ограниченный доступ]

12. Liu, Hongjun; Yuan, Feng; Yang, Donghai. The strength varieties of the subsurface made of lime and fine coal ash of the Hingwaj from Changba to Baichengt. Dongbei linye daxue. J. Nort-East Forest. Univ., 2000, Vol. 28, No. 1, P. 45.

13. Путилин Е. И., Цветков В. С. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог: Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твёрдого топлива на ТЭС. – М.: СоюздорНИИ, 2003. – 60 с. [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293854/4293854006.pdf>. Доступ 14.02.2023.

14. Федорова Н. В., Мохов В. А., Бабушкин А. Ю. Анализ зарубежного опыта использования золошлаковых отходов ТЭС и возможностей мультиагентного моделирования процессов утилизации (обзор) // Экология промышленного производства. – 2015. – № 3 (91). – С. 2–7. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24863456>. Доступ 14.02.2023.

15. Вишня Б. В., Уфимцев В. М., Капустин Ф. Л. Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС: Монография. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2006. – 186 с. ISBN 5-321-00634-2.

16. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, IRP, 2020, 173 p. ISBN 978-92-807-3771-4. DOI: 10.5281/zenodo.3542680.

17. Elgizawy, S. M, El-Haggag, S. M., Nassar, Kh. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. Procedia Engineering, 2016, Vol. 145, pp. 1306–1313. DOI:10.1016/j.proeng.2016.04.168.

18. Domenech, T., Bahn-Walkowiak, B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States, Ecological Economics, 2019, Vol. 155, pp. 7–19. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.11.001.

19. Kirchherr, Julian, Reike, Deniso, Hekkert Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling, 2017, No. 127, pp. 221–232. DOI: 10.2139/ssrn.3037579.

20. Hart, J., Adams, K., Giesekam, J. [et al]. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP, 2019, No. 80, pp. 619–624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>. ●

Информация об авторе:

Цховребов Эдуард Станиславович – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник Центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, Москва, Россия, rebrovstanislav@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 14.02.2023, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 03.03.2023.



КОЛЕСО ИСТОРИИ



ВОССТАНАВЛИВАЯ СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

118

Судьба добровольцев-студентов МИИТ, воевавших в 19 отдельном батальоне воздушного наблюдения, оповещения и связи.



УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ

126

Человеческие ресурсы и 130 лет назад воспринимались как ключевые для успешной работы железных дорог. Исторические документы, опыт, проекция на будущее.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 9

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-1-14>

Памяти студенток МИИТ – бойцов 19 отдельного батальона ВНОС посвящается...



Екатерина КУЛИКОВА



Лидия ЕНОВА

Екатерина Борисовна Куликова ¹,

Лидия Евгеньевна Енова ²

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

✉ ¹ iuit_kulikova@inbox.ru.

АННОТАЦИЯ

«Вспомним всех поименно, горем вспомним своим...
Это нужно – не мёртвым! Это надо – живым!»
(Роберт Рождественский, «Реквием»)

От хранителей истории – сотрудников музеев в повествованиях о Великой Отечественной войне часто ждут ярких рассказов о героях и их подвигах. Подвиги непременно должны быть впечатляющими, истории яркими и захватывающими, подкреплёнными внушительными цифрами, высокими наградами. Всё так... Но пусть история, о кото-

рой пойдёт речь в статье, напомнит о том, что Победа в самой страшной и кровопролитной войне XX столетия стала возможной благодаря ежедневным подвигам всех граждан нашей страны, всех без исключения, независимо от их возраста, пола, профессии. Именно потому, что студентки МИИТа, отправившиеся добровольцами на фронт в 1942 году, не считали себя героями, их историю сегодня сотрудники музея РУТ (МИИТ) восстанавливают по крупицам в архивах и новые факты их боевого пути публикуют впервые за 80 лет!

Ключевые слова: Великая Отечественная война, история, МИИТ, Российский университет транспорта, история науки и техники.

Благодарности: Музей РУТ (МИИТ) и авторы выражают благодарность архиву РУТ (МИИТ), ФГКУ «Центральный архив Министерства обороны Российской Федерации» (г. Подольск), а также информационным партнёрам проекта: ФГБУК «Государственный историко-мемориальный музей-заповедник «Сталинградская битва» (г. Волгоград), Студии военных художников им. М. Б. Грекова (г. Москва), ГАУ Ямало-Ненецкого автономного округа Ямало-Ненецкий окружной музейно-выставочный комплекс имени И. С. Шемановского, ВПК «Высота» (г. Раменское) и его руководителю Н. К. Юдину.

Для цитирования: Куликова Е. Б., Енова Л. Е. Памяти студенток МИИТ – бойцов 19 отдельного батальона ВНОС посвящается... // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 118–125. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-1-14>.

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.

Стратегическая оборонительная операция на сталинградском направлении продолжалась больше 200 дней и ночей и включала два этапа:

- первый – ведение оборонительных боевых действий войсками фронтов на дальних подступах к Сталинграду (17 июля 1942 г. – 12 сентября 1942 г.);

- второй – ведение оборонительных действий по удержанию Сталинграда (13 сентября 1942 г. – 18 ноября 1942 г.).

Активное участие в обороне города на Волге принял Сталинградский корпусной район противовоздушной обороны (СКР ПВО). Приказом народного комиссара обороны СССР Маршала Советского Союза К. Е. Ворошилова от 20 апреля 1942 года Сталинградский дивизионный район противовоздушной обороны был преобразован в Сталинградский корпусной район противовоздушной обороны (СКР ПВО). В ходе ожесточённых боёв в междуречье Волги и Дона войска корпуса вели активные боевые действия. Накануне Сталинградской битвы в состав СКР ПВО входили 76 частей и подразделений с численностью личного состава 33 468 человек.

В соответствии с постановлением Государственного комитета обороны СССР от 25 марта 1942 года 100 тысяч девушек-комсомолок направлялись в части противовоздушной обороны для замещения должностей телефонистов, радистов, разведчиков-наблюдателей за воздухом и зенитной артиллерии, а также других «мужских» военных должностей [1].

Так в мае 1942 года в состав корпусного ПВО прибыли 3 116 девушек в возрасте от 19 до 25 лет. Требовалось в кратчайший срок обучить и натренировать их на несение боевого дежурства в частях корпусного ПВО и в отдельных батальонах воздушного наблюдения, оповещения и связи. Девушки-комсомолки были призваны из различных городов Советского Союза. Московский институт инженеров транспорта им. И. В. Сталина (МИИТ) в 1941 году был эвакуирован в Новосибирск. Именно оттуда 27¹ девушек-комсомолок, студенток 1–4 курсов МИИТа

¹ Фамилии и имена 23 студенток МИИТа подтверждены документами архива Министерства обороны РФ и архива РУТ (МИИТ), ещё по трём девушкам сотрудниками музея РУТ (МИИТ) продолжается исследовательская и поисковая работа.

ушли добровольцами в Красную Армию и были отправлены на Сталинградский фронт. Приказом от 8 июня 1942 г. они все были зачислены в 19 отдельный батальон воздушного наблюдения оповещения и связи (ОБ ВНОС).

Из донесения начальнику политотдела 4 дивизии ПВО. Донесение 19 отдельного батальона (ОБ) ВНОС 18–23 июня 1942 г.:

«... 7. Приём нового пополнения. Девушки-комсомолки находятся в д. Шарово Лозаново-Алексеевского района. С 11 по 14 июня совершены марши в 102 км. Прошёл организованно. Отстающих не было. С 15-го занятия строго по программе, желание усвоить специальности ВНОС у всех большое...»

В подразделениях 19 ОБ ВНОС ежедневно по десять часов в дневное и по два – в ночное время проводились занятия по боевой и политической подготовке.

Бойцы ВНОС должны были знать на «отлично»:

1. задачи службы ВНОС;
 2. назначение, состав, имущество наблюдательного поста и элементы боевого порядка;
 3. оборудование ВНОС;
 4. материальную часть винтовки;
 5. средства связи НП ВНОС и порядок использования донесений типа «ВОЗДУХ».
- Так же на «отлично» уметь:
6. обнаруживать, опознавать, определять курс, высоту тип и количество вражеской авиации;
 7. отличать силуэты самолётов СССР, Англии и США, состоящих на вооружении Красной Армии (авт.: рис. 1);
 8. описать все характерные особенности устройства любого самолёта, определять тип самолёта по любой части (хвостовому оперению, форме фюзеляжа, плоскости, моторной группе);

9. начертить по памяти форму силуэта самолётов Германии, Италии и Румынии (авт.: рис. 2);

10. выполнять упражнение № 1 из винтовки, оберегать винтовку;

11. начертить цепь токопроводения;
12. правильно включать телефонные аппараты УНА-И и УНА-Ф, МБ «Красная заря» в однопроводную и двухпроводную цепь;

13. выполнять требования дисциплинарного, строевого, а также внутренней службы уставов.





Рис. 1. Силуэты американских самолётов [2].



Рис. 2. Силуэты самолётов Германии [3].



Рис. 3. Командир 19 об ВНОС подполковник Форис П. Ф. (из личного дела 1944 г.).

Девушки-новобранцы успешно прошли подготовку, при проверке абсолютное большинство получили оценки «хорошо» и «отлично».

Из донесения политруку 19 об ВНОС: «За время подготовки новобранцев было выпущено 20 боевых листов и особо была отмечена лучший редактор девушка-комсомолка Лариса Кнороз (студентка I курса группы II факультета инженеров путей сообщения), которая сумела нацелить личный состав взвода на устранение недостатков в обучении»...

Из отчёта о боевой деятельности 19 об ВНОС за годы Отечественной войны 1941–

1945 гг.: «В июне 1942 г. на пополнение батальон получил девушек. Женского обмундирования к этому времени не было, подвезти по железной дороге составляло большие трудности, т.к. в первую очередь перевозились боеприпасы. Поэтому 1,5 месяца девушки находились в части в своих платьях. Совершили переход с Купянска до ст. Балашев в своей обуви. Только потом в Сталинграде девушки-бойцы были обмундированы»...

19 об ВНОС был сформирован в Западной Украине в г. Львов 1–5 марта 1940 г. согласно Директивы Управления Противовоздушной обороны Киевского Особого Военного округа (КОВО) № 2/00208 от 3.03.1940 г. Батальон с первых дней образования находился в подчинении штаба ПВО КОВО и в оперативном



Элеменкина Валентина



Уткина Валентина



Соболева Татьяна

подчинении дивизии ПВО. Командование 19 об ВНОС принял капитан Форис Павел Федорович (рис. 3), начальником штаба отдельного батальона стал старший лейтенант Барбарук Иван Ефремович.

На Сталинградской дислокации в 1942–1943 гг. батальон выполнял боевую задачу по обороне Сталинграда и Урало-Рязанской железной дороги (рис. 4). Наблюдательные посты (НП) ВНОС, которые дислоцировались вдоль железной дороги на подступах к Сталинграду, а затем по линии фронта по р. Волга, систематически подвергались бомбометанию со стороны противника. В дни Сталинградской битвы в воздухе находилось большое количество самолётов врага. А 23 августа 1942 года германская авиация нанесла массированный удар по Сталинграду, уничтожив значительную часть города и десятки тысяч его жителей. Массированные бомбардировки проводились с целью деморализовать защитников Сталинграда и облегчить вермахту захват города. В то время немцы имели подавляющее превосходство в воздухе, и отразить этот удар силами советской авиации и ПВО города было делом малореальным.

Авиаудары продолжались в течение нескольких дней. В результате погибло около 40 тысяч советских граждан. Не только из-за мощи авиаударов, но и потому, что дома (в основном деревянные) к середине августа высушенные солнцем, легко загорались, а водопровод был повреждён ещё во время предыдущих налётов. То обстоятельство, что по Волге разлилась нефть, сильно затрудняло тушение пожаров. Значительная часть Сталинграда выгорела. Гитлеровцы впоследствии отмечали, что их наступление проходило по территории рабочих посёлков, которые пре-

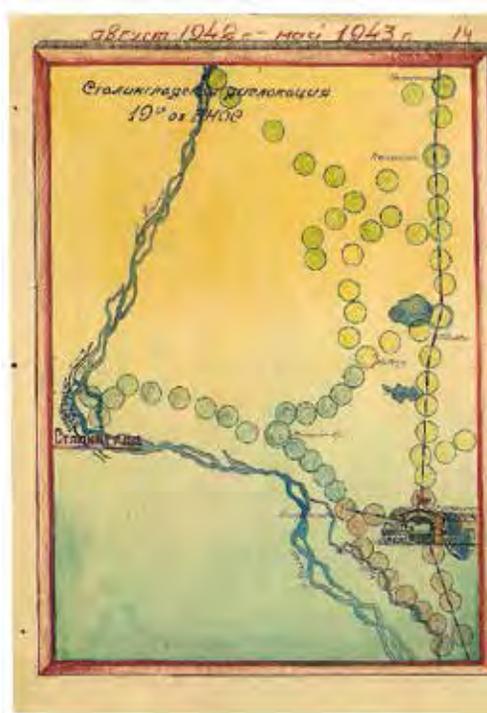


Рис. 4. Сталинградская дислокация 19 об ВНОС [4].

вратились в лес печных труб, оставшихся от полностью уничтоженных огнём домов. Эта был апокалипсис, запечатлённый на немецких фотографиях [5]. Под массированными ударами линии связи непрерывно рвались. Личный состав НП, невзирая на непрерывное бомбометание, своевременно восстанавливал повреждения и передавал донесения о появлении воздушного противника.

В районе дислокации пролетело и зарегистрировано по донесениям НП за летние месяцы 35 230 самолёто-пролётов.

Бойцы 19 об ВНОС прошли весь путь со своим батальоном с 1941 по 1945 гг. (рис. 5).



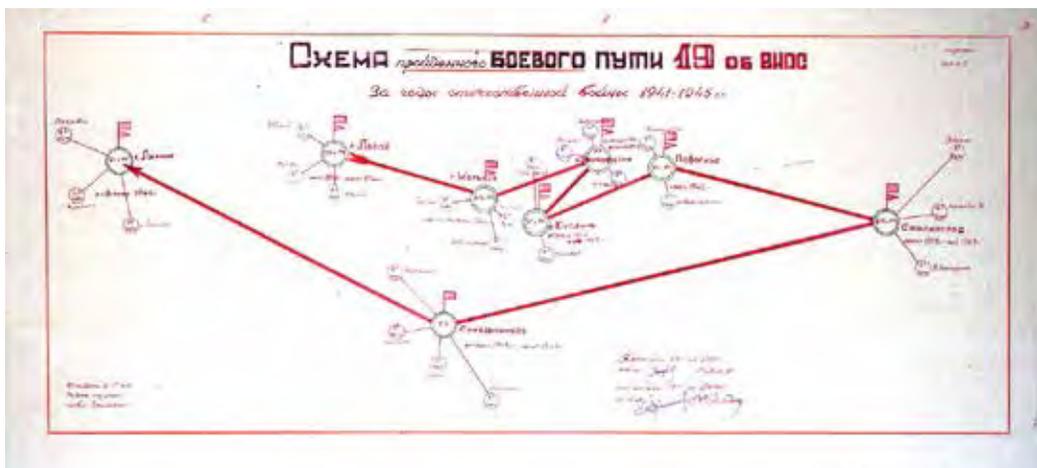


Рис. 5. Схема пройденного боевого пути 19 об ВНОС за годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. [4].



Проскурина Валентина



Панисова Лариса



Павловец Нина

Важно отметить, что благодаря умелым действиям командира 19 об ВНОС П. Ф. Фориса личный состав батальона понёс на Сталинградской дислокации минимальные потери.

В приказах этого периода отдельными пунктами выделены порядки размещения девушек-бойцов в крытых вагонах, обеспечение их санитарными принадлежностями и горячим питанием на наблюдательных постах. О внимательном отношении командира батальона к девушкам говорят документы, найденные в архивах: 28.11.1942 г. на имя командира 19 об ВНОС пришло письмо от Бугрова Н. А., отца одной из лучших радисток батальона, студентки второго курса эксплуатационного факультета МИИТ Лидии Бугровой. Отец спрашивал о местонахождении дочери и был обеспокоен её двухмесячным молчанием. В документах политрука ОБ И. Е. Барбарука сделана пометка: «Сообщить отцу о нахождении бойца и копии ответа (направить) в г. Сердобск в/ч 781 о том, что боец Бугрова Лида выполняет боевую задачу, здорова и ей сделано внушение со сторо-

ны политрука Барбарука о необходимости писать письма отцу».

Несмотря на напряжённую ситуацию, бойцы получали новые знания и в батальоне регулярно проводились учебные сборы.

Приказ по 19 об ВНОС № 372 от 31.12.1942 г.:

«Сего числа сборы радистов – бойцов девушек-комсомолок считать оконченными. 2-х месячная программа подготовки радистов выполнена.

Лучшие образцы учебы по усвоению программы показали бойцы:

1. Лаврова З. А. (премия 100 руб.);
2. Иванова А. Г. (премия 100 руб.);
3. Уткина В. И. (премия 100 руб.);
4. Метлина Н. Е. (премия 50 руб.).

Руководил курсом лейтенант Васюра Е. В.».

В феврале 1943 г. бойцам 19 об ВНОС Маргарите Захаровой, Галине Жуган и Татьяне Соболевой была вынесена благодарность за отличное несение боевого дежурства, от-



Жуган Галина



Дерюгина Александра



Бугрова Лидия



Назарова Лариса



Мамонтова Софья



Кузнецова Надежда

личные и хорошие результаты в боевой и политической подготовке.

Студентки МИИТ в ноябре 1942 года получили отличные характеристики командира 2 роты 19 об ВНОС лейтенанта Бидермана.

Из донесения:

«Ефрейтор Назарова Лариса (3 курс инженерно-экономического факультета): «Аккуратный, исполнительный боец. Хорошо справляется с работой старшей телефонистки».

Младший сержант Жуган Галина: «Исключительно дисциплинированный аккуратный боец. Отлично несёт боевую службу по посту».

Ефрейтор Соболева Татьяна: «Энергичный, дисциплинированный боец. Отлично несёт боевую службу».

Студентка факультета путей сообщения МИИТ Валентина Уткина была одной из лучших радисток батальона. В 1944 г. старший сержант Уткина была отозвана в распоряжение штаба дивизии ПВО дислоцированной в Варшаве.

Начальниками наблюдательных постов стали студентки МИИТ:

- 1 курса путейского факультета Надежда Кузнецова;
- 4 курса инженерно-экономического факультета Маргарита Захарова;
- 1 курса факультета путей сообщения Валентина Уткина;
- 2 курса строительного факультета Валентина Элеменкина;
- 1 курса тоннельного факультета Елена Лебедева.

Студентки 2 и 3 курсов экономического факультета МИИТ Татьяна Соболева и Раиса Вярвельская были назначены комсоргами рот.

Все студентки МИИТ – бойцы 19 об ВНОС получили звания ефрейторов, младших сержантов, сержантов. Все до одной были представлены к медалям «За оборону Сталинграда», Александра Дерюгина, Валентина Элеменкина, Софья Мамонтова, Татьяна Соболева и Надежда Кузнецова – к медалям «За боевые заслуги».





Агапова Капитолина

Студентка 2 курса эксплуатационного факультета Лариса Панисова погибла в 1945 г.

Сотрудники Музея РУТ (МИИТ) продолжают исследовательскую работу по восстановлению имен и историй жизни студенток МИИТ – бойцов 19 об ВНОС.

Считаем важным вспомнить поименно всех студенток МИИТа, ушедших в 1942 году добровольцами и ставших бойцами 19 об ВНОС²:

1. **Агапова Капитолина**, Экономический факультет МИИТ 3 курс, ефрейтор-телефонист 19 ОБ ВНОС³;

2. **Бугрова Лидия**, Эксплуатационный факультет МИИТ 2 курс, ефрейтор-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

3. **Вяревельская Раиса**, Экономический факультет МИИТ 3 курс, младший сержант – начальник наблюдательного поста 19 ОБ ВНОС;

4. **Дерюгина Александра**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, младший сержант 19 ОБ ВНОС

5. **Ершова Наталья**, Инженерно-геологический факультет МИИТ 1 курс, младший сержант 19 ОБ ВНОС;

6. **Жуган Галина**, Эксплуатационный факультет МИИТ 2 курс, младший сержант 19 ОБ ВНОС;

7. **Захарова Маргарита**, Экономический факультет МИИТ 4 курс, младший сержант 19 ОБ ВНОС;

² Список студенток МИИТ сверен со списком личного состава 19 ОБ ВНОС архива Министерства обороны РФ и списком студентов института из архива МИИТ имени И. В. Сталина за 1942 г. В статье размещены фотографии студенток, найденные по состоянию на 23.01.2023 года.

³ Воинские звания приведены в соответствии с актом вручения медалей «За оборону Сталинграда» 1945 г. (основание Указ Президиума Верховного Совета СССР от 22 декабря 1942 г.).

8. **Кнороз Лариса**, Инженерно-геологический факультет МИИТ 2 курс, сержант 19 ОБ ВНОС;

9. **Коробова Нина**, Тоннельный факультет МИИТ 1 курс, ефрейтор 19 ОБ ВНОС;

10. **Кузнецова Надежда**, Путейский факультет МИИТ 1 курс, сержант 19 ОБ ВНОС;

11. **Лебедева Елена**, Тоннельный факультет МИИТ 3 курс, красноармеец-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

12. **Мамонтова Софья**, Эксплуатационный факультет МИИТ 2 курс, сержант – начальник наблюдательного поста 19 ОБ ВНОС;

13. **Назарова Лариса**, Экономический факультет МИИТ 4 курс, ефрейтор-телефонист 19 ОБ ВНОС;

14. **Никишова Елизавета**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, ефрейтор-радиотелеграфист 19 ОБ ВНОС;

15. **Павловец Нина**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, красноармеец-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

16. **Павловская Елена**, Экономический факультет МИИТ 2 курс, ефрейтор-телефонист 19 ОБ ВНОС;

17. **Панисова Лариса**, Эксплуатационный факультет МИИТ 2 курс, ефрейтор-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

18. **Попова Татьяна**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, младший сержант – начальник наблюдательного поста 19 ОБ ВНОС;

19. **Проскурина Валентина**, Путейский факультет МИИТ 2 курс, красноармеец-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

20. **Соболева Татьяна**, Экономический факультет МИИТ 2 курс, ефрейтор-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

21. **Уткина Валентина**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, ефрейтор-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

22. **Широкова Мария**, факультет Путей сообщения МИИТ 1 курс, красноармеец-наблюдатель 19 ОБ ВНОС;

23. **Элеменкина Валентина**, Строительный факультет 3 курс, сержант – начальник наблюдательного поста 19 ОБ ВНОС;

24. **Лапина Анна**, 2 курс МИИТ, ведётся дальнейший поиск сведений;

25. **Лобанкова Ираида**, 2 курс МИИТ, ведётся дальнейший поиск сведений;

26. **Метлина Елизавета**, 1 курс МИИТ, ведётся дальнейший поиск сведений.



Рис. 6. Выставочный проект музея РУТ (МИИТ) [Фото пресс-службы РУТ (МИИТ)].

После демобилизации 20 июля 1945 года в родной вуз вернулись не все девушки. Н. Ершова, Н. Коробова, М. Широкова, М. Захарова, Л. Назарова, Е. Лебедева, В. Уткина, Р. Вярвельская, Т. Соболева закончили МИИТ и работали по специальности. Раиса Вярвельская отлично училась, получала Сталинскую премию, закончила аспирантуру, защитила кандидатскую диссертацию и работала доцентом на кафедре «Экономика, организация и управление производством» МИИТ. Проводила большую научную и методическую работу, была членом Совета ветеранов войны МИИТ. Татьяна Соболева также закончила аспирантуру, защитила кандидатскую диссертацию и преподавала на кафедре политэкономии МИИТ [6].

К 80-летию юбилею окончания Сталинградской битвы музеем РУТ (МИИТ) был подготовлен выставочный проект, где представлены архивные материалы, фотографии, эскизы к фильму «Сталинград», 2013 г. (реж.

Ф. Бондарчук, художник-постановщик С. Иванов) и работы художников-баталистов на тему Сталинградской битвы (рис. 6).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Насекин М. А. Войска Сталинградского корпусного района ПВО (17 июля – 31 октября 1942 г.) // Военно-исторический журнал. – 2021. – № 10. – С. 34–44. [Электронный ресурс]: <http://history.milportal.ru/arxiv/voenno-istoricheskij-zhurnal-2021-g/voenno-istoricheskij-zhurnal-10-2021-g/>. Полный текст номера: https://disk.yandex.ru/i/0BXyZV-L_Bb8lw.
- Опознавательные знаки американских самолётов. [Электронный ресурс]: <https://ivagkin.livejournal.com/80977.html?> Доступ 06.02.2023.
- Плакат «Силуэты самолётов Германии». – Худ. Б. Жарков. – М.: Военное издательство НКО СССР, 1941. [Электронный ресурс]: <https://oborona.museum-online.moscow/entity/OBJECT/17754>. Доступ 06.02.2023.
- Отчёт о боевой деятельности 19 ОБ ВНОС 1941–1945 гг. – Архив ВМ СССР, Фонд № 708959, Инв. № 349, коробка № 45795.
- Исаев А. Битва на Волге // Историк. – 2018. – № 2 (38). [Электронный ресурс]: <https://xn--h1aagokeh.xn--plai/journal/post/6361>. Доступ 06.02.2023.
- Сборник «Минтовцы в Великой отечественной войне». – М.: МИИТ, 2005. – 160 с. ISBN 5-00-005952-2. ●

Информация об авторах:

Куликова Екатерина Борисовна – кандидат технических наук, доцент, заведующий Музеем РУТ (МИИТ), Москва, Россия, iuit_kulikova@inbox.ru.

Енова Лидия Евгеньевна – старший инспектор Музея РУТ (МИИТ), Москва, Россия, museumrutmiit@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.02.2023, одобрена после рецензирования 03.03.2023, принята к публикации 03.03.2023.





Проект положения о движении поездов по русским железным дорогам (паровозным), открытым для общественного пользования (1892 год)



Пресс-архив

В этом номере воспроизводятся выдержки из предварительного проекта одного из главных документов, регламентирующих эксплуатационную деятельность железных дорог, – положения о движении поездов. Составлен он был более 130 лет назад. В части технических особенностей эксплуатации он представляет, может быть, меньший интерес, чем в части публикуемых фрагментов, относящихся к деятельности служащих железных дорог или, в современном понимании, персонала. При всей исторической отдалённости от нашего времени многие акценты в документе вполне актуальны, как например, требование к работникам при совмещении профессий обладать полным набором навыков по каждой из них.

При воспроизведении публикации максимально сохранены стиль, пунктуация и лексика того времени.

Ключевые слова: транспорт, история транспорта, железные дороги, персонал, история науки и техники.

Предварительный проект положения о движении поездов по русским железным дорогам (паровозным), открытым для общественного пользования. Выработан Комиссией, учреждённой циркуляром Департамента железных дорог от 21 апреля 1892 г., № 5190, под председательством инженера, Д.С.С. М. М. Петровского.

Организация службы движения

ГЛАВА I

Общие положения

§ 1

(1) Движение поездов по железной дороге, открытой для общественного пользования, производится непосредственным распоряжением службы движения под общим руководством управляющего дорогой, согласно с настоящим положением.

(2) При необходимости, в силу особых условий дороги, установить какие либо отступления от настоящего положения, таковые могут быть допущены не иначе как с разрешения Министра путей сообщения.

(3) Все лица, состоящие в службе движения, начиная с начальника этой службы, подчинены управляющему дорогой.

Примечание: Под именем правления дороги в настоящем положении должно разуметь также советы управления частных железных дорог, заменяющие правления, а под именем управляющих – также и начальников казённых и директоров частных железных дорог.

§ 2

(1) В состав службы движения входят следующие лица, имеющие непосредственное отношение к движению поездов:

Благодарности: редакция выражает признательность сотруднику библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке публикации.

Для цитирования: Проект положения о движении поездов по русским железным дорогам (паровозным), открытым для общественного пользования (1892 год) // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 126–132. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-15>.

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

- а) начальник службы движения и его помощник;
- б) начальники центральных распорядительных отделов и местных отделений, ревизоры и контролёры движения;
- в) начальники станций и их помощники;
- г) сигналисты при постоянных станционных и путевых сигнальных постах;
- д) телеграфисты;
- е) стрелочники;
- ж) составители поездов и сцепщики;
- з) главные (обер-) кондукторы и кондукторы всех наименований.

Примечание: Паровозная прислуга, хотя и не принадлежит к службе движения, но в отношении передвижения подвижного состава подчиняется на станциях начальнику станций, или лицу, распоряжающемуся манёврами, а в пути – главному кондуктору.

(2) Из числа поименованных должностей управление каждой дороги учреждает состав службы движения, который утверждается Министром путей сообщения.

(3) Порядок определения к должности служащих, входящих в состав службы движения, и увольнения от должности и службы, а равно взаимные отношения служащих – определяются для каждой дороги, согласно с указаниями закона, постановлением Министра путей сообщения и уставом общества подлежащей железной дороге.

(4) Должность начальника службы движения, в зависимости от условий дороги, может быть совмещена с должностью управляющего дорогой или другой должностью на дороге, с разрешения Министра путей сообщения. Для остальных должностей, поименованных в пункте 1-м настоящего параграфа, с утверждения управляющего дорогой, допускается совмещение временное, периодическое или постоянное нескольких должностей в одном лице, сообразно местным условиям движения и кроме того на каждого из служащих, независимо от обязанностей, определённых настоящим положением, могут быть возлагаемы и другие обязанности, относящиеся железнодорожной службы, если управляющим дорогой будет признано такое совмещение возможным без ущерба для дела.

5) Служащий, совмещающий несколько должностей, должен удовлетворять всем качествам и познаниям, установленным для каждой из совмещаемых им должностей, будь то совмещение постоянное, временное или периодическое.

§ 3

(1) Каждое лицо обязано временно устранить от должности непосредственно подведомственного ему служащего, оказавшегося ненадёжным или

обнаружившего неспособность к исполнению возложенной на него обязанности, и о таком устранении немедленно сообщить своему непосредственному начальству для дальнейшего распоряжения, приняв со своей стороны необходимые меры к безостановочному отправлению службы.

(2) Служащие, поименованные в § 2, должны обладать таким зрением и слухом, чтобы могли совершенно явственно различать употребляемые на дороге сигналы, и не иметь телесных недостатков, препятствующих им отправлять возложенные на них обязанности.

(3) Станционные и поездные служащие должны быть совершеннолетние, но при этом допускаются следующие изъятия:

а) окончившие курс в технических железнодорожных училищах могут быть допускаемы: к занятию должностей стрелочника, сцепщика, составителя поездов и кондуктора с 18-летнего возраста, если они удовлетворяют требуемым правилам и качествам для служащих;

б) телеграфисты, на которых не возлагается обязанностей по движению, допускаются к занятиям при телеграфных аппаратах с 16-летнего возраста.

(4) К исполнению должностей начальников станций, их помощников, сигналистов, стрелочников, составителей поездов, сцепщиков, главных кондукторов и кондукторов, допускаются лишь лица, выдержавшие испытание в полном знании предстоящих им обязанностей, причём начальники станций, их помощники и заместители должны назначаться из лиц, умеющих действовать телеграфом; составители поездов и главные кондукторы должны быть обязательно грамотны; сцепщики, стрелочники и кондукторы должны быть избираемы по возможности из грамотных.

(5) Каждое лицо, занимающее должность, поименованную в § 2 сего положения, должно быть снабжено инструкцией (наставлением), утверждённой управляющим дорогой, твёрдо знать положение о сигналах и инструкции подчинённых ему служащих и свободно объясняться на русском языке. Инструкции составляются согласно с настоящим положением и соответствующими постановлениями и распоряжениями Министра путей сообщения, и должны с возможной точностью и краткостью определять обязанности лица, которому они выдаются, и порядок подчинённости.

(6) К каждой инструкции обязательно должны быть приложены нижеследующие выборки из законов... кроме того из общего устава российских железных дорог должны быть включены в соответствующие инструкции подлежащие статьи, по усмотрению управляющего дорогой.



(7) Всякие изменения и дополнения в инструкциях, последовавшие вследствие распоряжения Министра путей сообщения, а равно изменения в законах и постановлениях, помещаемых в приложениях к инструкциям, сообщаются служащим приказом по линии управляющего дорогой.

(8) Инструкции выдаются каждому служащему под расписку, безграмотным же непременно прочитываются и разъясняются непосредственным его начальством.

(9) Служащий, допущенный к исполнению возложенных на него обязанностей, не может отговариваться незнанием или непониманием содержания преподанных ему инструкций, правил, положений и пр.

(10) Каждый состоящий в службе движения должен быть снабжён при исполнении им служебных обязанностей присвоенными его должности исправными сигнальными знаками, инструментами и всеми предметами, необходимыми для исполнения порученных ему обязанностей. Принимающий инструменты и сигналы обязан удостовериться в их годности и, в случае неисправности, немедленно заявить о том начальству.

(11) Каждый из поименованных в сих правилах служащих по движению должен быть во время нахождения своего на службе в форменной одежде или с присвоенным данной должности форменным знаком по утверждённому, в установленном порядке образцу.

§ 4

(1) Обязанности по движению должны быть поручаемы достаточному числу служащих, дабы они могли успешно исполнять возложенное на них дело и, в случае внезапной болезни кого-либо из них, его обязанности могли быть своевременно приняты другим лицом.

1-й Вариант

(2) Число служащих определяется на основании нижеуказанных предельных норм бесменной службы отдыха в течение суток.

2-й Вариант

(2) Число служащих определяется на основании нижеуказанных предельных норм непрерывной службы и следующего за ним отдыха.

Для станционных служащих

(3) Для бесменной службы станционных служащих наибольший предел ежедневной работы допускается в зимнее время 12, а в прочее время года 14 часов в сутки, при непрременном условии предоставления непрерывного отдыха, безразлично днём или ночью, не менее 6 часов в сутки и сверх того непрерывного односуточного отдыха в течении каждого месяца два раза, причём служащему предоставляется право пользоваться этим отдыхом,

с согласия управления дороги, не по месяцам, а по совокупности нескольких месяцев.

1-й Вариант

(4) Когда, по условиям движения или вследствие особенной напряжённости работы, не представляется возможными соблюсти вышеприведённых норм для бесменной службы, то дежурства распределяются между двумя или более лицами в зависимости от нижеследующих норм дежурства и отдыха.

а) Начальники станций, помощники их, сигналисты, составители, сцепщики, старшие стрелочники и стрелочники при обыкновенных стрелках могут дежурить по 24 часа в сутки; сигналисты же и стрелочники при постах сосредоточенного действия – не свыше 16 часов в сутки.

б) Во всех случаях, когда непрерывная служба поименованных служащих будет достигать наивысших пределов указанных норм, последующий отдых, предоставляемый им, не должен быть менее числа часов предшествовавшей непрерывной службы.

в) Дежурства между служащими должны распределяться таким порядком, чтобы в течении четырёх суток общее число часов отдыха, предоставляемое служащим, равнялось общей сумме времени работы.

2-й Вариант

(4) Когда, по условиям движения или вследствие особой напряжённости работы, не представляется возможность соблюсти вышеприведённых норм для бесменной службы, то учреждается очередное дежурство между двумя или более лицами, причём наибольший предел непрерывной службы каждого из них не должен превышать:

а) для начальников станций, их помощников, сигналистов, составителей, сцепщиков, старших стрелочников и стрелочников при ручных стрелках – 24 часов, для сигналистов и стрелочников при центральных аппаратах – 16 часов.

б) Наименьший отдых служащих, следующий непосредственно за службой, должен быть не менее половины предшествовавшего числа часов дежурства.

в) Общий итог отдыха должен быть в сумме не менее 48 часов в течении 4 суток.

Для кондукторских бригад:

1-й Вариант

(5) Кондукторские бригады, назначаемые для сопровождения пассажирских, товаропассажирских, воинских и товарных поездов несут непрерывную службу не свыше 18 часов в сутки; непрерывный отдых бригад не должен быть менее 6 часов в течение суток, причём в течение определённого управляющим доро-

гой периода времени, для всей линии или для участка, средняя ежедневная продолжительность работы в сутки не должна превышать ни в каком случае 12 часов, а наибольший период, назначенный управляющим дорогой не должен быть допускаем свыше 6 суток.

(6) При составлении распределения дежурства и отдыха следует руководствоваться правилом назначения наибольшего отдыха в местах жительства бригад, ограничивая отдых в оборотном депо крайним пределом необходимости.

(7) В отдельных случаях продолжительность непрерывного нахождения кондукторских бригад в поездах может доходить и до 24 часов, но не иначе как с разрешения Министра путей сообщения.

(8) Продолжительность непрерывной службы кондукторских бригад рабочих поездов может быть доведена с разрешения управляющего дорогой и до 24 часов, при условии предоставления времени непрерывного отдыха не меньше числа часов предшествовавшей службы.

(9) Назначение смен, как и равно распределение сроков дежурства и отдыха станционным и поездным служащим производится распоряжением службы движения, в пределах вышеприведённых норм и утверждается управляющим дорогой 1.

2-й Вариант

(5) Для кондукторских бригад наибольший предел непрерывной службы не должен превосходить 18 часов. При особых условиях дороги наибольший предел непрерывной службы допускается и в 24 часа, но не иначе как с особого на то разрешения Министра путей сообщения. Означенные предельные нормы могут быть применяемы как в отношении одной, так и по совокупности нескольких поездок.

Примечание: В указанных предельных сроках службы кондукторских бригад заключается и время, потребное на приём и сдачу поездов.

(6) По достижении непрерывной службы вышеуказанных в настоящем § предельных норм, кондукторам обязательно должен быть предоставлен отдых, наименьший предел которого определяется в месте постоянного жительства равным половине, а вне его, не менее одной трети предшествовавшей службы. Отдых, предоставленный ранее наступления предельных норм, хотя бы при нескольких поездках, прерывает течение общей продолжительности службы лишь в том случае, если таковой отдых был не менее вышеуказанных соотношений к предшествовавшей службе.

(7) Время отдыха в 3 часа и более, проведённое вне места постоянного жительства, – засчитывается в общую сумму отдыха, указанного ниже, лишь под условием предоставления бригадам приспособленного для отдыха помещения в пределах станции.

Примечание: Отдых менее 3-х часов засчитывается в число часов службы.

(8) Общий итог часов отдыха, как в пунктах постоянного жительства бригад, так и вне таковых, должен, в определённый период времени, не превышающий 6 суток, равняться сумме часов службы, причём отдых должен быть распределён по возможности равномерно.

(9) Распределение дежурства станционных служащих, а равно и работы кондукторских бригад производится распоряжением службы движения с утверждения управляющего дорогой.

(10) При отправлении служащих в пассажирских, товаро-пассажирских или в товарных поездах к месту назначения для отправления ими служебных обязанностей, половина времени, проведённого таковыми служащими в пути, считается за отдых, если на них не будет возложено никаких обязанностей во время следования.

(11) В случаях чрезвычайных, которые не было возможно предвидеть заблаговременно (как например, при действии непреодолимой силы, опоздании поездов и т.п.), допускаются случайные отступления от вышеуказанных норм непрерывной службы, но с тем, чтобы управление дорогой озаботилось восстановлением при первой возможности соотношения отдыха к продолжительности предшествовавшей службы.

§ 5

(1) Пределы ответственности каждого служащего определяются содержанием настоящего положения, данной ему инструкции и сообщёнными ему распоряжениями по дороге, причём применяются следующие правила:

а) Если неисполнение, или неудовлетворительное исполнение, какой-либо из обязанностей произошло от несвоевременного сообщения исполнителю, или вследствие поручения обязанностей, сопряжённых с должностями, поименованными в § 2, лицу, не обладающему качествами, указанными в этом параграфе, то ответственность падает на того, кем сделаны таковые упущения.

б) В случае невозможности исполнить свою обязанность лично, каждый должен своевременно передать исполнение тому лицу, которое на такой случай назначено начальством; при отсутствии же такого лица, каждый должен неотлагательно известить подлежащее начальство о невозможности исполнения своих обязанностей.



ГЛАВА II

Распределение обязанностей между служащими

§ 6

(1) Каждый служащий, независимо от исполнения возложенных на него непосредственно обязанностей, должен, по мере возможности, содействовать предотвращению всякой опасности, которая может угрожать движению по железной дороге. В случае крушения поезда, подвижного состава, или какого-либо другого происшествия на дороге, каждый служащий обязан немедленно принимать зависящие от него меры к оказанию помощи, и к ограждению сигналами места происшествия.

(2) В случае пожара, каждый служащий, заметивший последний, обязан безотлагательно подать сигнал тревоги. По такому сигналу служащие железной дороги обязаны немедленно прибыть к месту пожара и, заняв свои места, действовать согласно инструкции.

Примечание: Требование это не распространяется на служащих, исполняющих во время пожара ответственные обязанности по приёму и отправлению поездов.

(3) Служащие по движению обязаны вести себя по отношению к публике скромно и вежливо, но при этом с твёрдостью и настойчивостью требовать исполнения установленных правил; они должны быть предупредительны в пределах предоставленных им служебных прав. При невнимании посторонних лиц к предупреждениям служащих или нежелании подчиниться законным их требованиям, служащие обязаны обращаться к жандармской полиции за содействием, причём о более важных случаях доносить своему начальству.

(4) Агенты службы движения, поименованные в § 2 настоящего положения, при исполнении ими своих служебных обязанностей, по отношению к публике, пользуются правами лиц, состоящих на государственной службе¹.

§ 7

Начальник службы движения

(1) Лицо, которому поручено непосредственное заведывание службой движения именуется начальником службы движения.

(2) К обязанности начальника службы движения относятся:

а) непосредственное, ответственное заведывание и распоряжение движением по дороге и личным составом этой службы;

б) забота о соответственном развитии станций, сигнализации их и поездов, достаточном количестве подвижного состава, устройстве помещений и приспособлений, необходимых для совершаемого движения, о снабжении станций, поездов и служащих необходимыми сигналами,

¹ Подлежит установлению в законодательном порядке.

инструментами, инструкциями, прочими предметами и материалами, о достаточном числе служащих и о соответствии их требованиям службы;

в) наблюдение за правильным и своевременным движением поездов;

г) наблюдение за точным применением и исполнением всех относящихся железных дорог правил, положений, постановлений и распоряжений правительства, а также и правил, преподанных управлением дороги;

д) составление расписаний и графиков движения поездов;

ж) ведение установленной отчётности.

Примечание 1: В нетерпящих отлагательства случаях, начальник службы движения принимает собственной властью и под собственную ответственность все необходимые по вверенной ему части меры для обеспечения безопасности, правильности и безостановочности движения;

Примечание 2: Ближайшее, под общим руководством начальника движения, заведывание и распоряжение службой и наблюдение за точным исполнением служащими всех действующих правил может быть возлагаемо на помощника начальника движения, начальника центрального распорядительного отдела, начальников местных отделений, ревизоров и контролёров движения.

§ 8

Начальники станций

(1) Для заведывания станцией по приёму и отправлению поездов назначается особое лицо, именуемое начальником станции.

(2) Начальник станции обязан:

а) содержать в *полной* исправности для движения поездов находящееся в пределах станции: пути переводы, сооружения, сигналы и подвижной состав, устранять по возможности, замеченные неисправности и в случае надобности требовать содействия и распоряжения подлежащих лиц;

б) заботиться о соответственном для станции количестве: путей, переводов, сооружений, сигналов подвижного и личного состава, и о снабжении служащих станций инструкциями, сигналами и прочими предметами;

в) наблюдать за точным исполнением обязанностей службы всеми поездными и станционными служащими и распределять обязанности между последними в зависимости от условий движения и существующих на это правил;

г) руководить и наблюдать за производством манёвров, не допуская никаких отступлений от действующих правил;

д) следить, чтобы подвижной состав, поставленный на путях, и равно прибывающие поезда не выходили за пределы габарита и были прочно укреплены;

е) отправлять и принимать поезда по предварительному убеждению, что путь для движе-

ния свободен, что точно соблюдены правила сношений с соседними станциями и условия надлежащего составления поезда, что последний сопровождается определённым числом поездных служащих и снабжён установленными сигналами;

ж) распоряжаться подачей помощи поездам и пассажирам, пострадавшим в пути и на станции, принимая возможные меры и руководя, в подлежащих случаях, действиями служащих по возобновлению правильного и безопасного движения на пути или на станции;

з) вести установленную отчётность по движению поездов.

Примечание: Под словами «начальник станции» следует разуметь также и помощников их, вступивших в исправление должности начальника станции.

§ 9

Сигналисты

(1) Сигнальные посты между станциями, и в пределах таковых, учреждаемые для сношений по приёму и отправлению поездов, поручаются ведению особых лиц, именуемых сигнаристами.

(2) Сигналисты обязаны:

а) содержать в полной исправности для движения пост и аппараты, возможно чаще убеждаясь в целостности, исправности и надлежащем действии таковых;

б) заботиться о замене и исправлении всего испортившегося на посту и аппаратов, равно о чистоте и своевременном освещении сигналов;

в) наблюдать, чтобы пост был всегда свободен для следования поездов;

г) исполнять точно при приёме и отправлении поездов все правила сигнализации поста и сношений с соседними станциями;

д) сообщать немедленно подлежащему начальству и соседним станциям или постам о неисправностях поста или аппаратов, влекущих за собою нарушение установленного порядка движения поездов;

е) уведомлять соседние станции или посты и подлежащее начальство о происшествиях с поездами и требовать высылки помощи на основании действующих правил;

ж) вести установленную отчётность по движению поездов.

§ 10

Телеграфисты

(1) Действие телеграфными аппаратами станции поручается телеграфистам.

(2) Телеграфист обязан:

а) наблюдать, чтобы аппараты и комнатное телеграфное устройство находились в исправности, а в случае повреждения принимать возможные меры к их своевременному исправлению;

б) сообщать обо всех без исключения повреждениях телеграфа как на линии, так и на станции,

немедленно начальнику станции, механику и надсмотрщику телеграфа;

в) передавать поездные, служебные телеграммы и частную корреспонденцию на основании существующих правил;

г) вести установленную отчётность по телеграфу.

§ 11

Стрелочники

(1) Лица, на которых возлагаются обязанности по содержанию, охранению и действию рельсовыми переводами именуются стрелочниками.

(2) Стрелочник обязан:

а) содержать в полной исправности порученный ему пост, убеждаясь в целостности, исправности и надлежащем действии переводов;

б) заботиться о замене и исправлении всего испортившегося на посту, о чистоте и своевременном освещении сигналов;

в) наблюдать, чтобы порученный ему пост и смежные пути были свободны для передвижения подвижного состава;

г) держать стрелки всегда в том положении, которое будет для сего определено и переводить их: для пропуска поездов по указанию начальника станции, а при манёврах по указанию лица, распоряжающегося манёврами или по требованиям, заставляемым установленными сигналами;

д) находиться на стрелке, обращённой к ожидаемому поезду острием пера; если на посту имеется несколько таких стрелок, то все остальные закреплять принятыми на дороге приборами, – при отсутствии или порче приборов такие стрелки ограждать сигналами остановки; соблюдение настоящего правила не обязательно при манёврах;

е) сообщать немедленно подлежащему начальству о всех неисправностях на пути и стрелочных постах, извещать станционных служащих о происшествиях установленными сигналами, ограждать сигналами подвижной состав или место, препятствующее движению.

Примечание: При централизации переводов обязанности лиц, действующих так, определяются особыми правилами, издаваемыми управлением дорог.

§ 12

Составители

(1) Производство всякого рода передвижений подвижного состава в пределах станции (станционные манёвры) может быть поручаемо особым лицам, именуемыми составителями.

(2) Составитель обязан:

а) убеждаться в надлежащем состоянии и положении пути, переводов, сооружений, подвижного состава и сигналов в районе предстоящей работы;

б) руководить и наблюдать за работой сцепщиков, стрелочников и прислугой маневрового паровоза, а равно и всякого другого двигателя;



в) производить манёвры в пределах путей, указанных ему начальником станции;

г) составлять поезда, не отступая ни в чём от действующих правил в отношении подачи сигналов, скорости движения, рода, количества, размещения и соединения подвижного состава;

д) сообщать немедленно подлежащему начальству о всех замеченных неисправностях как в отношении пути, сигналов и подвижного состава, так и в отношении подведомственных составителей служащих;

е) следить за надлежащим размещением вагонов на путях и за прочным укреплением их.

Примечание: Для производства собственно сцепки и расцепки подвижного состава могут быть назначаемы особые служащие, именуемые сцепщиками, которые действуют под непосредственным руководством составителя или лица, распоряжающегося манёврами.

§ 13

Главный кондуктор

(1) Главный кондуктор, есть начальник сопровождаемого им поезда.

(2) Главный кондуктор обязан:

а) убеждаться при отправлении поезда со станции в правильном составлении поезда, надлежащем сцеплении его, правильной нагрузке подвижного состава, исправном действии тормозов, надлежащем количестве и исправном состоянии, и действии сигнальных принадлежностей;

в) наблюдать, чтобы в поезде было установленное число поездной прислуги, и чтобы таковая была правильно распределена в поезде;

г) наблюдать за точным исполнением обязанностей службы поездной и паровозной прислуги, а равно за соблюдением в поезде всеми лицами установленных правил;

д) следить за прочным и вполне безопасным размещением груза на открытом подвижном составе;

е) действовать тормозом в определённых случаях;

ж) распоряжаться остановкой на станции и отправлением поезда со станции согласно действующих для сего правил;

з) убеждаться в целости поезда, прибывшего на станцию и докладывать об этом начальнику станции;

и) останавливать поезд во всех замеченных случаях, угрожающих безопасности и правильности движения, а также для предотвращения несчастий с лицами, следующими в поезде или находящимися на пути;

л) принимать соответствующие меры по ограждению остановившегося поезда, требовать помощи пострадавшему поезду и оказывать возможную помощь пострадавшим;

к) вести установленную отчётность по движению поездов.

§ 14

Кондукторы

(1) Для обслуживания поезда, в помощь главному кондуктору, назначаются особые лица, именуемые кондукторами.

(2) Кондуктор обязан:

а) наблюдать за правильной нагрузкой подвижного состава и за надлежащим сцеплением поезда;

б) заботиться об исправном действии тормоза, порученного ему для обслуживания; равно об надлежащем состоянии и действии сигнальных принадлежностей;

в) подавать сигналы остановки во всех случаях, угрожающих безопасности движения поезда и лиц, следующих в нём и находящихся на пути;

г) действовать вагонным тормозом в надлежащих случаях и согласно существующим правилам;

д) исполнять немедленно все распоряжения главного кондуктора, относящиеся до движения поездов;

е) ограждать поезд при всякой его остановке сигналами.

§ 15

Машинисты

(1) Независимо от обязанностей по уходу, содержанию и действию паровозом, машинист обязан:

а) во время нахождения паровоза на станционных путях приводить его в движение не иначе, как по приказанию начальника станции, по сигналам главного кондуктора или распоряжающегося манёврами, а при движении по обслуживаемым стрелкам, во время производства манёвров, по получении ответного сигнала от стрелочника, согласно положению о сигналах;

б) после всякой остановки поезда приводить его в движение не иначе, как по сигналу отправления поданному главным кондуктором;

в) перед отправлением поезда удостовериться, что состав соответствует установленным на дороге правилам, и что прицепка к поезду тендера и паровоза сделана правильно;

г) когда состав поезда не соответствует указанным правилам, заявить об этом начальнику станции.

(2) В случае разногласия между начальником станции и машинистом, таковые разрешаются порядком, установленным управлением каждой дороги.

(3) При следовании одиночных паровозов обязанности главного кондуктора возлагаются на машиниста.

**Приложение к журналу
«Железнодорожное Дело», 1892 г., № 45–46 ●**

Т



РЕЦЕНЗИЯ **134**

Снова о праве. Военное право: транспортные аспекты.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ **138**

- Диагностирования изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения с применением мобильных технических средств.
- Повышение эффективности работы тепловозного газодизеля путём регулирования соотношения воздуха и топлива в цилиндрах.
- Вертикальные динамические силы в контактах колёс экипажа и рельсов в безбалластной конструкции пути.
- Информационного взаимодействия в системах поддержки принятия решений и управления перевозочным процессом сырьевых поставок.



НОВЫЕ КНИГИ **144**

Новые учебники и монографии российских издательств по транспортной проблематике.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ



РЕЦЕНЗИЯ

УДК 34

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 134–137

Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трёхтомную монографию «Военное право»)



Сергей ГЛУШАЧЕНКО



Роман ЗЕЛЕПУКИН

Сергей Борисович Глушаченко¹,
Роман Валерьевич Зелепукин²

¹ Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия.

² Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, Тамбов, Россия.

✉ ¹ sglushachenko@mail.ru.

✉ ² lexcomlex@yandex.ru.

Военное право / В 3-х томах. Том III. Основные проблемы и перспективные направления военно-правовых исследований. – М.: Центр правовых коммуникаций, 2021–2022. – 680 с. ISBN 978-5-6042565-3-4.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается и рецензируется трёхтомная монография «Военное право» под общей редакцией А. Н. Савенкова и А. В. Кудашкина с точки зрения использования её результатов в процессе обучения и профессиональной деятельности будущих работников транспортной сферы. Положительно оценивая структуру и содержание монографии, особое внимание уделяется тому, что она содержит в себе ценную информацию и для транспортной сферы страны. Авторы рецензии отмечают, что монография способна удовлетворить потребность современного транспортного образования, с учё-

том необходимости формирования у будущих специалистов правовых знаний о военно-транспортной обязанности и военном сегменте транспортных отношений. Указывается на имеющиеся в данной области достижения и обосновываются перспективы проведения дальнейших исследований.

Авторы рецензии также считают, что можно было бы более подробно остановиться на проблематике военно-транспортной обязанности, которая могла бы стать прекрасным дополнением рассматриваемой трёхтомной монографии.

Ключевые слова: военное право, военная безопасность, военное законодательство, государственные органы и организации, оборона, военно-транспортная обязанность.

Для цитирования: Глушаченко С. Б., Зелепукин Р. В. Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трёхтомную монографию «Военное право») // Мир транспорта. 2022. Т. 21. № 1 (104). С. 134–137. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16>.

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.

В 2022 году вышел в свет третий том монографии «Военное право» под общей редакцией члена-корреспондента РАН А. Н. Савенкова и профессора А. В. Кудашкина, подводя итоговую черту под более чем двухлетней работой авторского коллектива над этим фундаментальным трудом^{1, 2, 3}.

Трёхтомник стал событием в мире военного права, которое представляет собой комплексную отрасль правовой науки, регулирующую общественные отношения, складывающиеся по поводу обеспечения защищённости Российской Федерации от военных опасностей и военных угроз. В монографии авторами обоснованы подходы к военному праву с позиций постнеклассической научной рациональности, сформирована научная платформа для интеграции концепции военно-правовых знаний в структуру современной научной картины мира.

Несомненным достоинством труда является его целостный, монографический, фундаментальный характер, рассмотрение в нём теоретических проблем военного права, современного состояния его основных институтов и перспектив развития на ближайшую перспективу. Сформулирован новый предмет военного права, который включает следующие основные вопросы: понятие войны (вооружённого конфликта), порядок и поводы для её объявления; правовые основы ведения войны (вооружённых конфликтов); формирование и реализация государственной политики в целях обеспечения военной безопасности государства; мобилизационная готовность военной организации государства, экономики, граждан к ведению вооружённой борьбы; правовое положение (статус) и ответственность участников военной деятельности, право-

мерность применения ими вооружений и иных средств вооружённой борьбы, а также ряд других.

Представляется, что проведённое исследование формирует принципиально новые эвристические возможности для системного познания права и его роли в социальной деятельности, а также имеет существенное значение для развития правовых, военных наук и расширения многообразия современного социально-гуманитарного познания. Обосновано место военного права в отечественной правовой системе и выявлены характеристики его реального функционирования в социальной жизни, раскрыта связь военного права с другими науками и сущность этой связи, что инициировало ряд новых концептуальных исследований [1–3].

Привлекает к себе внимание обширность исследовательского материала: в монографии изучены основные научные работы с начала развития советской военно-правовой науки (конец 40-х гг. прошлого столетия), диссертационные исследования советского и постсоветского периода по военному праву, а также значительное количество зарубежных источников и опыт правового регулирования военной деятельности ведущих стран мира, в том числе США и КНР.

Научная общественность живо отреагировала на появление монографии. Об этом красноречиво свидетельствуют уже опубликованные рецензии в авторитетных периодических изданиях, подготовленные видными учёными и общественными деятелями [4–9]. В них неизменно подчёркивается фундаментальный характер выполненного исследования, высокий уровень представленного материала, его теоретическая и практическая значимость. В ряде рецензий, имеющих форму академической дискуссии, также присутствует и конструктивная критика, отражающая тот факт, что за пределами внимания авторов остались некоторые проблемные вопросы, требующие дополнительной проработки [10; 11].

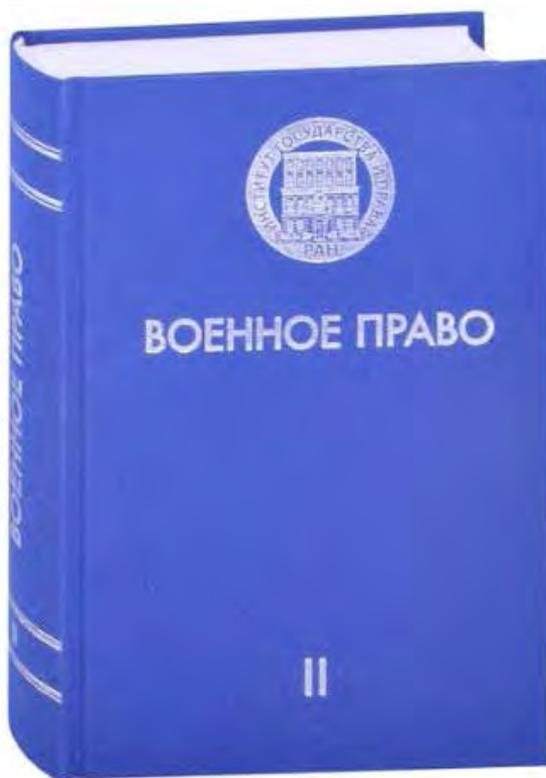
К одним из таких вопросов, как представляется, можно отнести проблематику военно-транспортной обязанности, которая могла бы стать прекрасным дополнением, как к первому, так и последующим томам. Как известно, военно-транспортная обязанность устанавливается статьей 13 Федерального закона от 26 февраля 1997 г. № 31-ФЗ «О мобилизации

¹ Военное право / Под общ. ред. А. Н. Савенкова, А. В. Кудашкина // Том I. История и теория военного права (с предисловием). – М.: ООО «Центр правовых коммуникаций», 2021. – 560 с.

² Военное право / Под общ. ред. А. В. Кудашкина, В. К. Аулова, В. В. Бараненкова [и др.] // Том II. Современное состояние военного права (институты военного права). – М.: ООО «Центр правовых коммуникаций», 2021. – 888 с.

³ Военное право / Под общ. ред. Е. А. Глухова, В. М. Корякина, А. В. Кудашкина [и др.] // Том III. Основные проблемы и перспективные направления военно-правовых исследований. – М.: ООО «Центр правовых коммуникаций», 2022. – 712 с.





онной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» и Положением о военно-транспортной обязанности, утверждённым Указом Президента Российской Федерации от 2 октября 1998 г. № 1175.

Она распространяется на федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, организации, в том числе на порты, пристани, аэропорты, нефтебазы, перевалочные базы горючего, автозаправочные станции, ремонтные организации и иные организации, обеспечивающие работу транспортных средств, а также на граждан-владельцев, определённых транспортных средств. Данный вопрос мог бы логично вписаться в разделы, посвящённые вопросам обеспечения военной безопасности, подготовки к вооружённой защите Российской Федерации, мобилизации, учётно-призывной работе, правовому режиму имущества военных организаций, регламентации различных видов особых административно-правовых режимов.

Наиболее острыми представляются проблемы учёта, подготовки к передаче, собственно передача техники как юридических, так

и физических лиц, её дальнейшее использование и возвращение, а также выплаты компенсации в случае её повреждения или уничтожения.

Необходимо отметить, что транспортная тематика тесно пересекается с проблематикой военного права. Это касается и вопросов правового регулирования различных видов обеспечения, в том числе медицинского, мобилизационной готовности, воинских перевозок и ряда других. Некоторыми авторами монографии уже рассматривались различные вопросы обеспечения транспортной и топливной безопасности [12–14], её медицинских аспектов [15; 16], включая роль транспорта в распространении массовых заболеваний и их влияние на функционирование транспортной системы в глобальном масштабе [17–19].

Как неоднократно подчёркивалось, потребность в правовых знаниях для сотрудников транспортной отрасли трудно переоценить [20; 21]. В этой связи вызывает интерес возможность подготовки на основе изданной монографии учебных программ в целях обучения военно-правовым основам, как в учреждениях среднего специаль-

ного образования, так и в высших учебных заведениях, в том числе транспортного профиля.

В заключение представляется возможным подчеркнуть, что монография «Военное право» – это фундаментальный теоретический труд, который, несомненно, будет пользоваться заслуженным интересом у самого широкого круга читателей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Милованович А., Холиков И. В., 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.
2. Большакова В. М. Ценности и смыслы главного судебного акта XX века: аксиологические концепты книги А. Н. Савенкова «Нюрнберг: Приговор во имя мира» (Материалы дискуссии) // Государство и право. – 2022. – № 10. – С. 51–62. DOI: 10.31857/S102694520021788-7.
3. Землин А. И. Вопросы развития военно-правовой науки в контексте современных проблем обеспечения национальной безопасности России // Военное право. – 2022. – № 5 (75). – С. 8–14.
4. Чемезов С. В. Мощный стимул правовых исследований в военной науке // Государство и право. – 2023. – № 3. – С. 27–32.
5. Блажеев В. В. Трёхтомная монография «Военное право» / Под общ. ред. А. Н. Савенкова, А. В. Кудашкина // Государство и право. – 2023. – № 2. – С. 40–42.
6. Ершов В. В., Качалов В. И. Военное право России как отрасль права // Российское правосудие. – 2023. – № 2. – С. 106–110.
7. Сальников В. П., Большакова В. М., Захарцев С. И. Интитуализация военного права как отрасли права в постнеклассической научной рациональности (рецензия на монографию «Военное право» в 3-х томах) // Право. Журнал Высшей школы экономики. – 2023. – Т. 16. – № 1. – С. 251–256.
8. Землин А. И. Актуальные вопросы военной деятельности государства: правовое измерение // Военное право. – 2022. – № 6 (76). – С. 233–237.
9. Холиков И. В. История и теория военного права: первое фундаментальное исследование // Военное право. – 2021. – № 5 (69). – С. 222–228.
10. Куманьков А. Д., Большакова В. М., Наумов П. Ю., Новиков Н. С. Диалог о смыслах военного права и военном праве как ценности (обсуждаем главу 5 «Социальная ценность военного права» тома I монографии «Военное право») // Право в Вооружённых Силах – Военно-правовое обозрение. – 2022. – № 7 (300). – С. 2–12.

11. Гаврилов С. О., Глебов И. Н., Чукин С. Г. [и др.]. Право в точке бифуркации: обсуждение концептуально-исследования военных проблем международного права (Дискуссия в формате «круглого стола» по материалам гл. 6 «Военные проблемы международного права» / Т. III «Военное право») // Государство и право. – 2022. – № 12. – С. 59–67. DOI: 10.31857/S102694520023301-2.

12. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current issues of metro safety technical regulations. Lecture Notes in Civil Engineering, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: 10.1007/978-981-33-6208-6_24.

13. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vladivostok, 2021, P. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.

14. Холиков И. В., Наумов П. Ю., Большакова В. М. [и др.]. Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения // Уголь. – 2022. – № 10 (1159). – С. 66–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-66-71.

15. Клёнов 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. Бухтияров И. В., Холиков И. В., Большакова В. М., Наумов П. Ю. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России» / Отв. ред. А. А. Мохов // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63. – № 1. – С. 67–73. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73.

17. Жданов К. В., Холиков И. В. Оказание помощи Гвинейской Республике в борьбе с эпидемией геморрагической лихорадки Эбола // Военно-медицинский журнал. – 2015. – № 2 (336). – С. 93–95.

18. Сазонова К. Л., Холиков И. В. Международно-правовые аспекты ответственности государств и международных организаций за распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний // Военно-медицинский журнал. – 2015. – № 8 (336). – С. 51–57.

19. Sazonova, K. L., Kholikov, I. V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility/ Ethical Challenges for Military Health Care Personnel. Edited by Daniel Messelken and David Winkler. New York, Routledge, 2018, pp. 38–51.

20. Холиков И. В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 1 (86). – С. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.

21. Холиков И. В. Право и транспорт: продолжение темы // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 4 (89). – С. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253. ●

Информация об авторах:

Глушаченко Сергей Борисович – доктор юридических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия, sglushachenko@mail.ru.

Зелепукин Роман Валерьевич – кандидат юридических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина», Тамбов, Россия, lexcotex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.03.2023, одобрена после рецензирования 13.03.2023, принята к публикации 15.03.2023.



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of Ph.D. theses submitted
at Russian transport universities*

*Текст на английском языке, публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published in the second
part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-17>

Волчанина М. А. Совершенствование методов диагностирования изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения с применением мобильных технических средств / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Омск: ОмГУПС (ОМИИТ), 2022. – 20 с.

Задача создания условий устойчивого, безопасного и эффективного функционирования железнодорожного транспорта как организующего элемента транспортной системы страны отражена в «Стратегии научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)». Обеспечение надёжной безотказной работы систем электроснабжения, находящихся в эксплуатации на железнодорожном транспорте, соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Анализ данных об отказах силовых трансформаторов тяговых подстанций ОАО «РЖД» показывает, что в основном повреждениям подвержены трансформаторы, срок службы которых соответствует сроку до первого капитального ремонта и составляет около 12 лет. По данным статистики, наиболее повреждаемыми частями силовых трансформаторов, является обмотка – 52 %, повреждаемость вводов – 27 %. Это объясняется тем, что по сравнению с трансформаторами подстанций энергосистем и промышленности силовые трансформаторы системы тягового электроснабжения работают в более тяжёлых условиях.

ГОСТ 52719-2007 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия» не даёт точной оценки показателям надёжности для силовых трансформаторов тяговых подстанций электрических железных дорог. В связи с этим при эксплуатации силовых трансформаторов в системе тягового электроснабжения рекомендовано проводить периодически дополнительное диагностирование их состояния. Уровень надёжности системы тягового электроснабжения (СТЭ) непосредственно влияет как на безопасность движения поездов, так и на бесперебойность движения поездов, что особенно важно при прохождении тяжёловесных составов, так как значительно возрастают токовые нагрузки и становятся выше номинальных значений. Применение непрерывных методов диагностирования позволяет определить фактическое техническое состояние и остаточный ресурс силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения. Таким образом, создание технических средств, методик и алгоритмов функционирования мобильных автоматизированных систем диагностирования изоляции силовых трансформаторов является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов в составе системы тягового электроснабжения, путём совершенствования методов оценки технического состояния изоляционных конструкций с применением мобильных средств диагностирования.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Исследовать причины образования и разновидности дефектов изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения и определить методы диагностирования их технического состояния.

2. Определить пороговые значения показателей развития дефектов изоляционных конструкций силовых трансформаторов и обосновать диагностические параметры для определения наличия дефектов.

3. Разработать метод оценки технического состояния изоляции силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения в процессе эксплуатации.

4. Разработать методику определения места возможного образования дефекта изоляции и методику диагностирования состояния вводов силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения на основе измерения параметров электрического поля.

5. Усовершенствовать технологию межремонтных испытаний силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения для обеспечения бесперебойной работы системы тягового электроснабжения.

6. Разработать мобильные технические средства оценки технического состояния изоляционных конструкций силовых трансформаторов и выполнить их апробацию.

В результате проведённых исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на совершенствование технологии и технических средств диагностирования изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения. Их применение позволит повысить эффективность эксплуатации силовых трансформаторов в системе тягового электроснабжения.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Выполнен анализ причин отказов силовых трансформаторов и существующих методов диагностирования изоляционных конструкций силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения, обоснованы достоинства применения акустических методов контроля с регистрацией параметров частичных разрядов и измерения параметров электрических полей вблизи высоковольтных вводов.

2. Определены пороговые значения показателей регистрируемых сигналов для «Нормального», «Предаварийного» и «Предельного» состояний изоляции по идентификации законов распределения. Указаны параметры сигналов с частичными разрядами и сигналов акустической эмиссии, вызванных механическими воздействиями.

3. Разработан метод обнаружения предаварийного состояния изоляции обмоток силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения в процессе работы с учётом развития дефектов изоляции

в условиях сезонных изменений температуры.

4. Предложена методика определения места образования дефекта изоляции силового трансформатора с учётом скорости распространения акустических импульсов в трансформаторном масле и металлических конструкциях. Нивелировано влияние мешающих факторов на получение данных о текущем состоянии изоляции трансформатора.

5. Разработана методика диагностирования состояния вводов силовых трансформаторов, основанная на анализе данных распределения электрического поля вблизи исследуемых вводов. Выявлено, что отклонение симметрии напряжённости поля в одной фазе более чем на 10 %, свидетельствует о появлении дефектов изоляции.

6. Разработаны мобильные технические средства диагностирования изоляции силовых трансформаторов, в состав которых введён имитатор дефектов, выполняющие измерения параметров акустического сигнала в условиях сезонных изменений температуры. Предложен критерий выявления роста дефекта от нормального состояния в условиях сезонных изменений температуры по значению опорного напряжения имитатора дефектов.

7. Предложена усовершенствованная технология межремонтных испытаний силовых трансформаторов системы тягового электроснабжения, позволяющая обеспечить бесперебойную работу системы тягового электроснабжения путём выявления предаварийного состояния силовых трансформаторов без их отключения. В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается проведение исследований, направленных на разработку системы управления цифровой тяговой подстанцией системы тягового электроснабжения, исследование эффективности управляющих воздействий на основе сигналов различных подсистем диагностирования состояния изоляционных конструкций силовых трансформаторов.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Омском государственном университете путей сообщения.



Журавлёв А. Н. Повышение эффективности работы тепловозного газодизеля путём регулирования соотношения воздуха и топлива в цилиндрах / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Самара: СамГУПС, 2022. – 20 с.

Снижение расходов на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) является одним из приоритетных направлений развития локомотивного комплекса ОАО «РЖД» и предприятий промышленного железнодорожного транспорта. Использование альтернативных видов топлива, таких как водород, природный газ и др., позволяет снизить расходы на ТЭР при условии обеспечения устойчивой работы силовой установки во всём диапазоне рабочих режимов и обеспечении регулирования требуемого соотношения топлива и воздуха в цилиндрах. Наиболее привлекательным с экономической точки зрения и оптимальным по временным затратам техническим решением является модернизация действующих силовых установок тепловозов для работы по смешанному циклу, например, газодизельному. Отечественный опыт перевода силовых установок тепловозов на газодизельный цикл показал невозможность обеспечения устойчивой (без пропуска воспламенения топлива в цилиндре) работы на режимах холостого хода и малых нагрузок (до 40 % от номинальной мощности) из-за нестабильной подачи запальной порции дизельного топлива и низкой объёмной концентрации газа в цилиндре, поэтому на этих режимах осуществлялась подача исключительно дизельного топлива.

В диссертации исследованы показатели работы силовой установки, оборудованной устройствами дросселирования рабочего тела, при отключении части цилиндров для решения проблемы обеспечения требуемых условий для воспламенения природного газа во всем диапазоне рабочих режимов.

Цель исследования – обеспечение устойчивой и экономичной работы газодизельного двигателя маневрового тепловоза на режимах холостого хода и малых нагрузок путём регулирования соотношения воздуха и топлива в цилиндрах. Для достижения поставленной в работе цели сформулированы и успешно решены следующие задачи:

1. Выполнено исследование и проведён анализ особенностей реализации газодизель-

ного цикла применительно к тепловозным силовым установкам.

2. Предложена уточнённая математическая модель расчёта показателей работы тепловозной силовой установки при переводе её на газодизельный цикл работы.

3. Выполнен расчёт определения диапазона изменения сечения дроссельной заслонки, при котором обеспечивается устойчивая работа силовой установки.

4. Определено количество работающих цилиндров, при котором обеспечивается устойчивая работа силовой установки под нагрузкой.

5. Разработан алгоритм управления сечением дроссельной заслонки и количеством работающих цилиндров силовой установки локомотива.

6. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности внедрения результатов работы.

По результатам проведённых исследований сделаны следующие основные выводы:

1. Анализ особенностей реализации газодизельного цикла применительно к тепловозным силовым установкам показал, что существует проблема воспламенения газа на низких позициях контроллера машиниста, связанная с нестабильной подачей малого количества запальной порции топлива и низкой объёмной концентрации газа. Наиболее выгодным с точки зрения минимального вмешательства в штатные системы двигателя решением проблемы является применение устройства дросселирования воздуха на входе в двигатель, а также отключение части цилиндров.

2. Разработанная уточнённая математическая модель рабочего процесса тепловозного дизеля при работе его по газодизельному циклу с дросселированием воздуха на входе во впускной коллектор и отключением части цилиндров позволяет дать количественную оценку изменения показателей работы газодизельгенераторной установки в зависимости от сечения дроссельной заслонки и количества работающих цилиндров.

3. В результате исследований установлено, что для обеспечения безопасной работы газодизеля на базе силовой установки 1-ПД4Д маневрового локомотива ТЭМ18ДМ в части сохранения допустимых значений температуры рабочего тела сечение дрос-

сельной заслонки должно изменяться в пределах диапазона 0,004–0,0002 м².

4. По результатам математического моделирования определено количество работающих цилиндров, при котором обеспечиваются допустимые температуры рабочего тела за выпускными клапанами и в выпускном коллекторе перед турбиной: на режиме холостого хода и 1 ПКМ – не менее 2 цилиндров; на 2 ПКМ – не менее 3 цилиндров; на 3 ПКМ – не менее 4 цилиндров.

5. Проведённый комплекс исследований показал, что при дросселировании рабочего тела и отключении части цилиндров возможно обеспечить объёмную концентрацию газа в цилиндре не менее 2,7 %, необходимую для воспламенения газового топлива во всём диапазоне рабочих режимов.

6. Для поддержания в автоматическом режиме объёмной концентрации газа в цилиндре не менее 2,7 % и не превышения допустимых значений температуры рабочего тела на выходе из цилиндров разработан алгоритм, включающий в себя гибкое изменение сечения дроссельной заслонки и цикловой подачи топлива, а также отключение части цилиндров.

7. Применение устройств дросселирования воздуха и отключения части цилиндров при работе по газодизельному циклу обеспечит положительный экономический эффект, величина которого будет зависеть от режимов загрузки двигателя. При реализации нагружения маневрового тепловоза по ГОСТ 34514-2019 годовая экономия эксплуатационных расходов на топливо в сравнении со штатной комплектацией тепловоза составляет 5,3 млн руб. на один локомотив ТЭМ18ДМ.

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается уточнение процессов смесеобразования и учёта технических особенностей устройств и способов обеспечения подачи газа и организации работы двигателя по газодизельному циклу.

2.9.3. – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), защищена в Самарском государственном университете путей сообщения.

Михайлов С. В. Вертикальные динамические силы в контактах колёс экипажа и рельсов в безбалластной конструкции пути / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2022. – 24 с.

В настоящее время перед железнодорожным транспортом России стоят задачи увеличения массы грузов и скорости перевозок, что требует развития тяжеловесного и высокоскоростного движения. Повышение скорости движения и нагрузки на ось, а также различные климатические условия предполагают применение новых конструкций верхнего строения пути, при условии обязательного сохранения его стабильности. Для решения подобных задач в мировой практике широко распространены безбалластные конструкции, однако проведённые исследования сфер их использования в условиях российских железных дорог продемонстрировали ограниченность их применимости. Таким образом, задача выбора оптимальных конструкций верхнего строения пути для конкретных условий эксплуатации является крайне актуальной, а её решение требует расчёта стоимости жизненного цикла. При этом проведение натурных испытаний весьма затруднительно, и, зачастую, экономически нецелесообразно, что свидетельствует о необходимости применения математического моделирования. Одной из широко используемых на практике при решении данной задачи, является модель колебаний пути как трёхслойной балки, лежащей на модифицированном основании Винклера. Эта модель позволяет получить вероятностные оценки таких характеристик верхнего строения пути, как углы поворота сечений, изгибающие моменты, поперечные силы, прогибы, напряжения в элементах конструкции. Знание подобных оценок позволяет решать задачи увеличения срока службы конструкции, прогнозирования ремонтов верхнего строения пути, исследования поведения конструкции при ударном взаимодействии колеса и рельса, делает возможным оценку вероятности превышения данными характеристиками существующих нормативных значений. Использование данной модели позволяет проводить расчёт средних значений и среднеквадратических отклонений случайных процессов для каждого из рассматриваемых слоёв, что является немаловажным для ряда задач, связанных с исследованием без-



балластных конструкций. Нахождение этих вероятностных характеристик требует расчёта матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил, действующих на путь, однако, в настоящее время отсутствует метод её нахождения для модели трёхслойной конструкции, и для решения текущих задач используется приближительная оценка.

Целью исследования является разработка метода прогнозирования срока службы безбалластного пути с учётом вертикальных динамических сил, вызванных неровностями пути в профиле. Для достижения данной цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработка метода расчёта матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил через неровности пути в профиле в модели трёхслойной балки, лежащей на модифицированном основании Винклера.

2. Получение характеристик случайных процессов изменения прогибов и напряжений в слоях безбалластной конструкции от воздействия вертикальных динамических сил, вызванных неровностями пути.

3. Определение влияния случайных процессов изменения прогибов и напряжений в слоях безбалластной конструкции на срок её службы.

4. Оценка возникающих расхождений между результатами расчётов срока службы безбалластного пути, полученных при помощи предлагаемого метода по сравнению с существующим.

Основные результаты исследования следующие.

1. Разработан метод нахождения матрицы взаимных спектральных плотностей вертикальных динамических сил через неровности пути в профиле в модели колебаний пути, как трёхслойной балки, лежащей на упругом основании Винклера, позволяющий оценить статистические характеристики напряжённого состояния и прогибов в элементах конструкции безбалластного пути.

2. Разработанная математическая и компьютерная модель расчёта срока службы безбалластных конструкций пути с использованием предложенного автором метода может быть использована при расчёте жизненного цикла БКП для различных условий эксплуатации и обосновании целесообразности

применения той или иной безбалластной конструкции либо пути на балласте.

3. Разница в результатах расчёта срока службы безбалластной конструкции пути для существующих условий ВСМ с применением модели однослойной балки и трёхслойной балки составляет порядка 5–10 %;

4. С ростом скорости движения и нагрузки на ось расхождение между результатами расчётов, выполненных с использованием моделей однослойной и трёхслойной балки, увеличивается, и, при достаточно больших значениях данных параметров (более 160 км/ч и 25 т/ось), может превышать 20 %, что в перспективе делает целесообразным использование метода, предложенного в настоящей работе.

5. Предложенная математическая модель и численные расчёты использованы для определения допустимых геометрических размеров бетонной несущей плиты при разработке первой редакции ГОСТ Р «Безбалластный путь высокоскоростных железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля», а также для формирования предложений по изменению ГОСТ 32698-2014 «Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля». Результаты расчётов использованы при разработке нового типа рельсового скрепления (заявки на патент № 2022112623, 2022112624, 2022112625, 2022112626, 2022112627 от 11.05.2022).

6. Задачи определения влияния значений случайных процессов изменения прогибов и напряжений с учётом вертикальных динамических сил, поставленные в работе, решены, цель работы по определению срока службы безбалластного пути достигнута.

7. Перспективы дальнейшей разработки данной темы заключаются в проведении расчётов для различных типов экипажей, конструкций пути и условий эксплуатации, применении предложенной модели для статистических оценок случайных процессов, возникающих при расчёте ударного взаимодействия в системе экипаж–рельсовый путь.

2.9.2. – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Хмелев А. С. Совершенствование информационного взаимодействия в системах поддержки принятия решений и управления перевозочным процессом сырьевых поставок / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. – 18 с.

Металлургические предприятия полного цикла характеризуются значительным объёмом грузоперевозок, большим ассортиментом производимой продукции и сложной производственной технологией. Консолидация всех данных от перевозчика, оператора подвижного состава и металлургического предприятия в единую сеть позволит сотрудникам полностью контролировать логистическую цепь, при этом значительно сокращая объём оперативного взаимодействия.

Цель исследования – совершенствование информационного взаимодействия в системах управления перевозочным процессом сырьевых поставок путём разработки информационной системы поддержки принятия решений в рамках единого пространства для всех участников перевозки. Поставленная цель достигается при решении следующих задач:

1) Анализ текущего состояния теории и практики информационного взаимодействия в системах управления перевозочным процессом между перевозчиком, предприятием и операторскими компаниями и выявление существующих проблем.

2) Исследование технологического процесса перевозки сырьевых грузов для нужд чёрной металлургии.

3) Разработка математической модели и алгоритмов функционирования информационной системы поддержки принятия решений.

4) Определение технико-экономической эффективности решения.

Научная новизна:

1) Разработана методика построения и функционирования информационной системы поддержки принятия решений при организации, управлении и контроле продвижения сырьевых грузов, позволяющая осуществлять сквозной мониторинг всей логистической цепи.

2) Проведён анализ статистических рядов времени хода поездов с коксом доменным на полигоне Заринская–Новолипецк, рассчитаны числовые характеристики случайных величин, проведена оценка на соответствие изучаемых

распределений нормальному, построены стохастические модели прогнозирования прибытия и запасов вагонов.

3) Практически применена концепция единого информационного поля для всех участников перевозочного процесса в области поставок сырьевых грузов чёрной металлургии и предложена математическая модель транспортного обслуживания металлургического предприятия на основе предлагаемых новых принципов информационного взаимодействия.

Основные результаты исследования следующие.

1) Российские рынки черной металлургии и железнодорожных грузоперевозок характеризуются высоким уровнем концентрации производственных активов, что обуславливает необходимость постоянного совершенствования железнодорожных перевозок и снижения себестоимости путём оптимизации логистических затрат.

2) Функционирование информационной системы поддержки принятия решений при организации, управлении и контроле продвижения сырьевых грузов позволяет ликвидировать информационный разрыв, обеспечить сквозной мониторинг на всём протяжении логистической цепи и принимать управленческие решения при возникающих отклонениях в соответствии с матрицей принятия решений. В ходе исследования разработан математический аппарат и построены алгоритмы работы подобной информационной системы.

3) Модель прогнозирования прибытия разрабатывалась с применением вероятностных методов. Были составлены и проанализированы 4 статистических ряда значений времени хода поездов, выборка для каждого из которых составила 100 значений.

На разработанной модели выполнены экспериментальные расчёты реальных входных данных с применением программных комплексов Statistica и MathLab. В результате построены вероятностные графики для каждого типа кокса в летний и зимний периоды.

4) Годовой экономический эффект при внедрении информационной системы только за счёт кокса доменного составит 11 млн 646,2 тыс. рублей.

2.9.4 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщений Императора Александра I».



НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска

The list of titles in English is published in the second part of the issue

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-18>

Ашихмин С. А., Ашихмина Е. А. Устройство автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 318 с. ISBN 978-5-0054-0399-5.

Бердников А. А. Оценка подвижности активных автопоездов: Монография. – Пермь: Изд-во ПВИ войск национальной гвардии, 2023. – 234 с. ISBN 978-5-600-03502-7.

Галин А. В., Слициан А. Е., Ситов А. Н. Выбор технологии и рациональной стратегии при организации перевозок отдельных видов грузов: Учебно-методическое пособие. – СПб.: Издательство ГУМРФ, 2023. – 61 с.

Гончарова М. А., Бондарев Б. А., Ткачёва И. А., Заева А. Г. Технологии и применение эффективных дорожно-строительных композитов: Монография. – Липецк-Елец: Типография, 2023. – 166 с. ISBN 978-5-94947-251-4.

Горбатенко Д. С. Системный подход к профилактике безопасности на транспорте: Научная монография. – Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – М.: У Никитских ворот, 2023. – 161 с. ISBN 978-5-00170-785-1.

Григорьева С. В. Развитие методологии экономического анализа устойчивости грузовых автотранспортных предприятий: Монография. – СПб.: Онлайн типография, 2023. – 163 с. ISBN 978-5-907723-05-4.

Денисов А. С., Гребенников А. С., Гребенников С. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 238 с. ISBN 978-5-0054-0402-2.

Дорошенко А. Н. Строительство автомобильных дорог и аэродромов: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 239 с. ISBN 978-5-0054-0396-4.

Ермакова Е. В. Управление финансово-экономической устойчивостью производственно-экономической системы. – М.: МГЭУ, 2023. – 130 с. ISBN 978-5-6049431-0-6.

Карагодин В. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных двигателей: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 271 с. ISBN 978-5-0054-0772-6.

Кобзев В. А., Алаев М. М. Технические средства обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте: Учебник. – Курск: РУТ (МИИТ), 2023. – Ч. 1. – 178 с. ISBN 978-5-907710-01-6.

Копытенкова О. И., Вильк М. Ф., Сачкова О. С., Леванчук Л. А. Техносферная безопасность транспортных систем / ФГУП ВНИИЖТ Роспотребнадзора. – М.: Авторская мастерская А. А. Давгуненко, 2023. – 220 с. ISBN 978-5-907450-50-9.

Кравченко А. Е., Пастухов М. А. Современные компьютерные системы и информационные технологии в сфере дорожного строительства: теория и практика: Учебное пособие. – Краснодар: КубГТУ, 2023. – 327 с. ISBN 978-5-8333-1205-6.

Левинсон М. Ящик: как грузовой контейнер сделал мир меньше, а мировую экономику больше. – М.: Бомбора: Эксмо, 2023. – 520 с. ISBN 978-5-04-109228-3.

Мачерет Д. А., Валеев Н. А. Основы экономики грузовых и пассажирских перевозок: Учебное пособие. – М.: ВНИИЖТ, 2023. – 100 с. ISBN 978-5-6049674-0-9.

Муравьев В. В., Тапков К. А. Оценка остаточных напряжений в дифференцированно термоупрочнённых рельсах акустическим методом: Монография. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2023. – 153 с. ISBN 978-5-7526-1000-4.

Нутович В. Е., Пашков Н. Н., Ларин О. Н. [и др.]. Современные транспортно-логистические технологии доставки грузов: Монография / РУТ (МИИТ), Институт управления и цифровых технологий. – М.: Ru-science.com, 2023. – 106 с. ISBN 978-5-466-02057-1.

Оганьян Э. С. Прочность тягового подвижного состава: Учебное пособие / РУТ (МИИТ), Российская открытая академия транспорта. – М.: Транслит, 2023. – 73 с. ISBN 978-5-94976-093-2.

Саморядов С. В., Телятников А. А. Проектирование земляных работ по строительству участка железнодорожной линии: Учебно-методическое пособие. – М., 2023. – 47 с. ISBN 978-5-93454-296-3.

Серебровский В. И., Агеев Е. В., Кончин В. А. [и др.]. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники с использованием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твёрдых сплавов: монография. – Курск: Изд-во Курской гос.с.-х. акад., 2023. – 99 с. ISBN 978-5-7369-0885-1.

Симдянкин А. А., Чаткин М. Н. Математическое моделирование технических систем: графический и симплекс методы, транспортная задача: Учебное пособие. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2023. – 176 с. ISBN 978-5-98344-714-1.

Степанов А. А. Устройство автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2023. – 303 с. ISBN 978-5-0054-0403-9.

Ткаленко Н. С., Шарутина В. А. Основы технической эксплуатации и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: Учебник. – Новосибирск: СГУВТ, 2023. – 141 с. ISBN 978-5-8119-0943-8.

Ферафонтова М. В. Информационные технологии как инструмент оптимизации бизнес-процессов в современной организации: Монография. – Уфа: Omega science, 2023. – 219 с. ISBN 978-5-907581-90-6.

Чалова М. Ю., Григорьев П. А., Неклюдов А. Н., Трошко И. В. Современные путевые машины для стрелочных переводов: Учебное пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2023. – 103 с. ISBN 978-5-907710-09-2.

Чалова М. Ю., Неклюдов А. Н., Григорьев П. А., Трошко И. В. Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина для стрелочных переводов UNIMAT 08–275/3S: Учебное пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2023. – 97 с. ISBN 978-5-907710-18-4.

Шелкунова Н. О., Хабардина А. В., Хабардин В. Н. Отходы производства предприятий автомобильного транспорта: Учебное пособие. – Молодёжный: Изд-во Иркутского ГАУ, 2023. – 113 с. ISBN 978-5-91777-244-8.

Шишкина И. В. Техническое обслуживание железнодорожного пути: устройство железнодорожного пути: Учебное пособие. – М.: Перо, 2023. – 170 с. ISBN 978-5-00204-980-6

Шматченко В. В., Иванов В. Г., Адвакатов А. А., Брюханов С. А. Технологии магнитолевитационного транспорта = Magnitolevitation transport technologies: Англо-русский словарь-справочник. – СПб.: Реноме, 2023. – 333 с. ISBN 978-5-00125-596-3.

Яшина М. В., Таташев А. Г., Сусоев Н. П. [и др.]. Модели транспортных потоков и динамики частиц на базе клеточных автоматов, стохастических и численных исследований. – 2023. – 157 с. ISBN 978-5-7962-0296-8.

Составила Н. Олейник ●



100 ЛЕТ ПАО «АЭРОФЛОТ – РОССИЙСКИЕ АВИАЛИНИИ»

История компании начинается 17 марта 1923 года, когда был утвержден устав АО «Добролёт», созданного по решению Правительства СССР в целях ускорения развития отечественной гражданской авиации. Открыта подписка на акции Российского Общества Добровольного воздушного флота – «Добролёт», ставшего родоначальником Аэрофлота.

Первая регулярная пассажирская линия открылась 15 июля 1923 года по маршруту Москва–Нижний Новгород. За считанные годы сеть пассажирских авиалиний соединяет крупнейшие города Союза – Казань, Свердловск, Баку, Ташкент, Алма-Ату и многие другие.

В 1932 году Гражданский воздушный флот СССР получил официальное название «Аэрофлот». В последующее десятилетие пилоты Аэрофлота спасли челюскинцев из арктического плена, соверша-

ли беспосадочные перелёты из Москвы на Дальний Восток и в США.

Лётчики Аэрофлота с первых дней Великой Отечественной войны встали на защиту Родины. Тысячи пилотов, штурманов, бортмехаников, радистов, специалистов наземных служб ушли на фронт, воевали в составе отдельных авиационных соединений и частей ГВФ – гражданского воздушного флота. Свыше двенадцати тысяч авиаторов ГВФ были награждены орденами и медалями, пятнадцать из которых были удостоены высокого звания Героя Советского Союза.

После войны Аэрофлот продолжает развивать внутреннюю и международную маршрутную сеть. В конце 40-х годов совершил первый пассажирский полёт Ил-12. В 50-е годы XX века стартует эра реактивной техники. 15 сентября 1956 года начинается эксплуатация первого



отечественного реактивного самолёта Ту-104. 24 апреля 1960 года самый большой в мире пассажирский турбовинтовой самолёт Ту-114 выполнил первый рейс по маршруту Москва–Хабаровск.

Конец 60-х – начало 70-х годов ознаменовался появлением сверхзвукового Ту-144, а также легендарного Ту-154 – самого массового отечественного пассажирского реактивного самолёта.

В начале 80-х годов начинается эксплуатация широкофюзеляжного Ил-86, модифицированного Ту-154М и среднемагистрального Як-42.

В 1989 году Аэрофлот вступает в Международную ассоциацию воздушного транспорта, а через год перевозит 137 миллионов пассажиров и с этим показателем входит в книгу рекордов Гиннеса. Компания ставит рекорд и по показателю ежедневно перевозимых пассажиров – 450 тыс.

В 1993 году уже современный Аэрофлот ставит новые рекорды по количеству пунктов назначения авиакомпании – 146 аэропортов на территории 105 стран мира.

В 90-е установлен абсолютный рекорд по пассажирообороту – за год авиакомпания перевезла 139 млн человек. Появляется первый сайт Аэрофлота, программа для частолетающих пассажиров «Аэрофлот Бонус». Компания реорганизуется в акционерное общество.

В 2014 году первый полёт совершила авиакомпания «Победа» – первый в России классический лоукостер.

В 2022 году Аэрофлот перевёз 20,5 млн человек, пассажирооборот составил 56,5 млрд пассажирокилометров, занятость кресел достигла 81 %. Общий объём перевозок авиакомпаний Группы «Аэрофлот» в 2022 году составил 40,7 млн человек, пассажирооборот – 98,4 пкм, занятость кресел – 83,6 %.

По материалам Министерства транспорта Российской Федерации и ПАО «Аэрофлот»:
<https://projects.mintrans.ru/ministry/awards/anniversaries/34;>
<https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/62648> ●





100th ANNIVERSARY OF PJSC AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES

On 17 March 2023, Aeroflot celebrates its 100th anniversary.

The history of the company began on March 17, 1923, when the charter of Dobrolet JSC was approved. The company was created by the decision of the Government of the USSR to accelerate the development of domestic civil aviation. Subscription for shares of the Russian Society of Voluntary Air Fleet (Dobrolet), which became the ancestor of Aeroflot, was open.

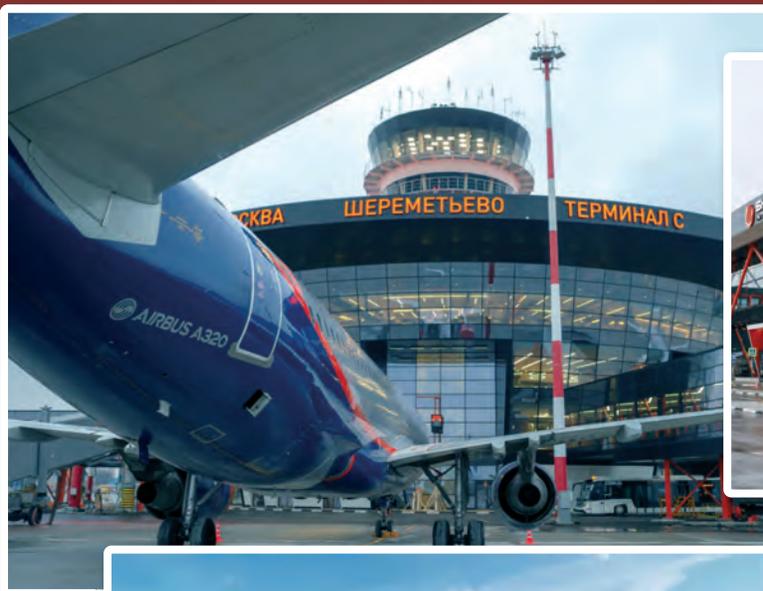
The first regular passenger line was opened on July 15, 1923, on the route Moscow–Nizhny Novgorod. In a matter of years, the network of passenger airlines connected the largest cities of the Union: Kazan, Sverdlovsk, Baku, Tashkent, Alma-Ata and many others.

In 1932, the Civil Air Fleet of the USSR received the official name «Aeroflot». During

the next decade, Aeroflot pilots rescued the Chelyuskinites from Arctic captivity, made a non-stop flight from Moscow to the Far East and the United States.

From the first days of the Great Patriotic War, Aeroflot pilots stood up to defend the Motherland. Thousands of pilots, navigators, flight mechanics, radio operators, ground service specialists went to the front, fought as separate aviation units of the Civil Air Fleet. Over twelve thousand Civil Air Fleet aviators were awarded orders and medals, fifteen of which were awarded the high title of Hero of the Soviet Union.

After the war, Aeroflot continued to develop its domestic and international route network. At the end of the 1940s, it made the first passenger flight with the Ilyushin Il-12. In the 1950s, the era of jet technology starts. On



September 15, 1956, the operation of the first domestic jet aircraft, the Tupolev Tu-104, started. On April 24, 1960, the world's largest passenger turboprop aircraft, the Tupolev-114, performed the first flight on the Moscow–Khabarovsk route.

The end of the 1960s – the beginning of the 1970s was marked by the emergence of the supersonic Tupolev-144, as well as the legendary Tupolev-154 – the most massively manufactured domestic passenger jet aircraft.

In the early 1980s, the operation of the wide-body Ilyushin-86, the modified Tupolev-154M and the medium-haul Yakovlev-42 began.

In 1989, Aeroflot joined the International Air Transport Association. A year later Aeroflot carried 137 million passengers and entered the Guinness Book of Records with this figure. The company also set a record in terms of daily passengers transported: 450 thousand.

In 1993, the modern Aeroflot set new records regarding the number of destinations of an airline: 146 airports in 105 countries of the world. In the 1990s, an absolute record was

set regarding passenger traffic: the airline carried 139 million people during the year.

In the 1990s, the first Aeroflot website, the Aeroflot Bonus program for frequent flyers appeared. The company was reorganised into a joint-stock company. The 2000s marked an important event which was the launch of Pobeda Airlines, Russia's first classic low-cost airline.

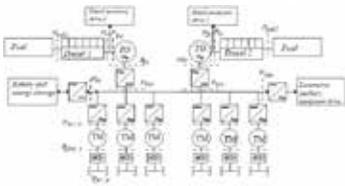
In 2022, Aeroflot carried 20,5 million passengers, passenger traffic amounted to 56,5 billion passenger kilometres, and seat occupancy reached 81%. In 2022, Aeroflot Group's airlines handled 40,7 million passengers, passenger traffic was 98,4 pkm, and seat occupancy was 83,6%.

According to the Ministry of Transport of the Russian Federation and PJSC Aeroflot:

<https://projects.mintrans.ru/ministry/awards/anniversaries/34;>

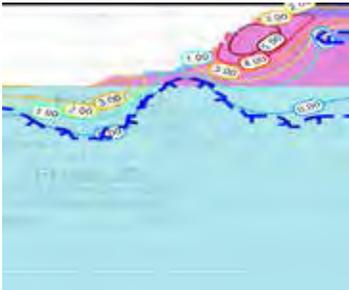
<https://www.aeroflot.ru/ru-ru/news/62648> ●

T



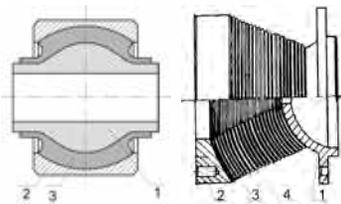
ROLLING STOCK 146

Power efficiency of autonomous locomotives. Modular design.



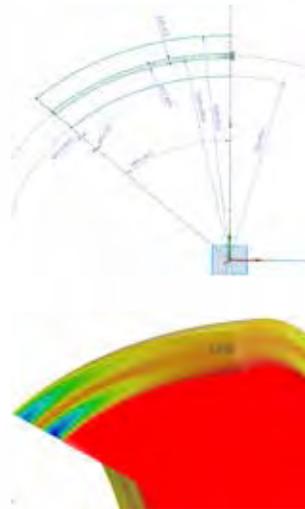
TRANSPORT CONSTRUCTION 154

Railway embankments in the Far North: cooling devices and thermophysical features of soils.



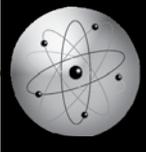
TRANSPORT VEHICLES AND MACHINERY 162

Spherical resin-metal hinges. Simulation to enhance durability.



SCIENCE AND ENGINEERING





ORIGINAL ARTICLE

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

Energy Efficiency Improvement Concept for Autonomous Locomotives



Nikolay GREBENNIKOV



Alexander ZARIFYAN

*Nikolay V. Grebennikov*¹,
*Alexander A. Zarifyan*²

^{1,2} Rostov State Transport University,
Rostov-on-Don, Russia.

✉ ¹ grebennikovny@mail.ru.

¹ RSCI ID: 3724-9891, Scopus ID: 56584746500,

Web of Science ID: A-2769-2014,

ORCID: 0000-0001-5959-2547.

² ORCID: 0000-0002-3072-8196.

ABSTRACT

The growing attention to the issues of increasing energy efficiency of railway transport results in suggesting various designs of traction rolling stock with the most advanced technical solutions, but, unfortunately, many of them remain only at the development or prototype stage.

The analysis of operating experience of existing mainline locomotives is proposed to help to develop fundamental principles of the concept of improving the energy efficiency of autonomous locomotives, aimed at creating a modular locomotive structure that makes it possible to coordinate operational loads with the operating

modes of traction equipment to provide the best conditions for converting and transferring energy to wheel sets. Modern on-board systems of locomotives record many parameters that can be used both to determine the energy efficiency of the locomotive, as well as to evaluate new technical solutions aimed at the use of discrete-adaptive control of the modular design of diesel generator sets and traction motors under the operating conditions of mainline locomotives.

Implementation of the proposed concept could make it possible to save up to 20 % of diesel fuel during transportation work, which was confirmed during testing a prototype locomotive.

Keywords: railway transport, energy efficiency, locomotive, diesel locomotive, efficiency factor, modular structure, traction equipment.

For citation: Grebennikov, N. V., Zarifyan, A. A. Energy Efficiency Improvement Concept for Autonomous Locomotives. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 146–153. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Improving the energy efficiency of industries is an important and priority task¹, the solution of which contributes to the growth and development of the economy of the Russian Federation. Transport plays a crucial role in transportation of goods and finished products between enterprises and consumers, while the share of railway transport accounts for up to 87 % of cargo turnover transported by different types of vehicles. Therefore, the issues of increasing the energy efficiency of locomotive operation are always relevant, as evidenced by the approved energy development strategies of the Russian Railways holding company² aimed at improving the traction properties of locomotives while reducing the cost of electricity and diesel fuel consumption by 10 % on average.

Currently, active work is underway in many countries to find optimal engineering solutions focused on creating energy-efficient locomotives [1; 2] with various versions of traction equipment design [3]. The main directions in this area are aimed at the transition to power plants with multi-diesel engines [4–8], the use of an asynchronous drive and energy storage devices [9–11].

A review of literature sources in the field of operating experience of shunting and mainline locomotives showed that:

- Today prevails the statement of low energy efficiency of shunting and powerful modern mainline locomotives, especially when working with trains of lighter weight [12; 13]. Despite development of locomotives with multiple diesel engines with a brushless traction drive, single-diesel shunting diesel locomotives with DC power transmission and single-diesel (concerning a single unit) main diesel locomotives with AC-DC power transmission are predominantly produced.

- Increasing the energy efficiency of the transportation process cannot be achieved only through creation of new powerful locomotives; special attention should be paid to the operating modes of the traction equipment of locomotives,

¹ Federal Law dated 23.11.2009, No. 261-FZ, On energy saving and energy efficiency improvement, and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation.

² E.g., Strategy for scientific and technological development of the Russian Railways holding company for the period up to 2025 and for the future period up to 2030 (White Paper). Moscow, JSC Russian Railways, 2015, 128 p.

which will make it possible to bring the power characteristics into line with the operating conditions [14], as well as to improve the algorithms for operation of traction and auxiliary equipment [15].

- There are several energy indicators for autonomous locomotives, which are standardised only for the full power of the locomotive at speeds from 40 to 90 % of the design speed, while operational efficiency is assessed only in terms of specific fuel consumption per unit of transportation work, from which it is difficult to directly evaluate efficiency of an autonomous locomotive [16].

The *objective* of the research, the results of which are described in the paper, was to develop fundamental principles of the concept of improving the energy efficiency of autonomous locomotives, aimed at creating a modular locomotive structure that makes it possible to coordinate operational loads with the operating modes of traction equipment to provide the best conditions for converting and transferring energy to wheel sets.

RESULTS

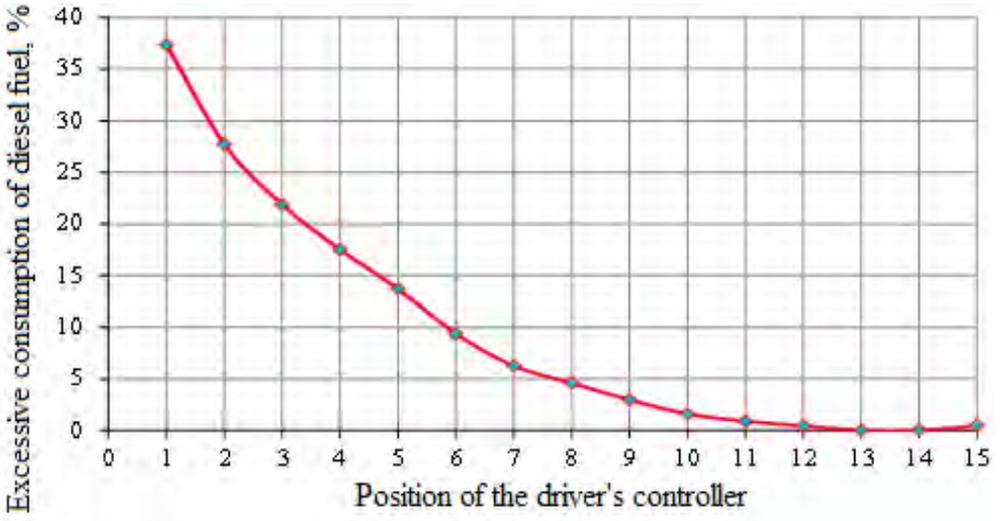
Analysis of the Energy Efficiency of Traction Equipment under Operating Conditions

When carrying out rheostatic tests of a diesel locomotive, it is possible to obtain the dependence of the efficiency factor (EF) of a diesel generator unit on the power or the position of the driver's controller (PDC), from which it can be seen that EF varies fairly in a wide range, as a rule, from 25 to 37 %. Using the data obtained for the diesel generator set of the 2TE25K^M diesel locomotive, it was possible to determine the dependence of excessive consumption of diesel fuel depending on the position of the driver's controller used, which is shown in Pic. 1.

Pic. 1 demonstrates that operation of the diesel generator unit of the 2TE25K^M diesel locomotive at lower positions of the driver's controller provokes a significantly excessive consumption of diesel fuel.

Also, the reason for decrease in energy efficiency of the locomotive is the control of electrical power transmission by voltage, which leads to an increase in the current load of traction electric machines, and as a result, to a significant increase in the proportion of losses depending on the square of current:





Pic. 1. Excessive consumption of diesel fuel depending on the position of the driver's controller [performed by the authors].

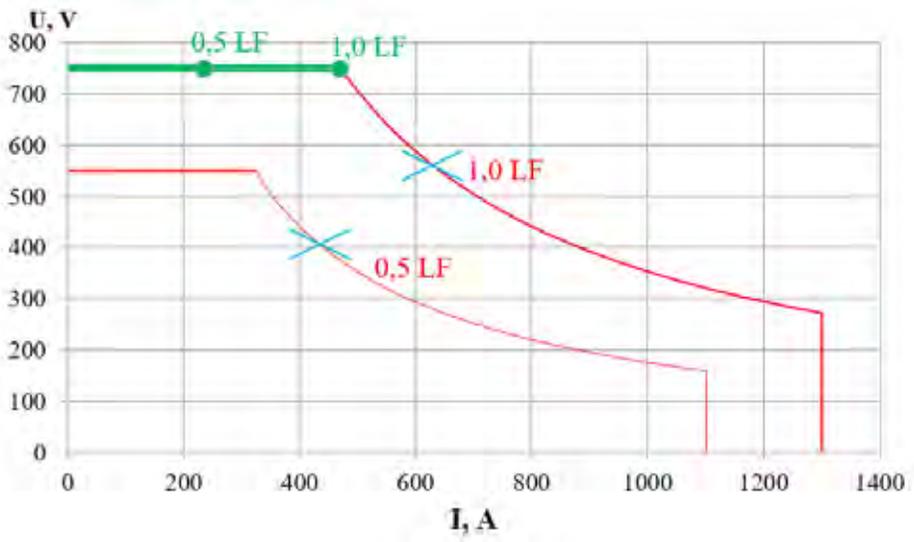
$$\eta_{TEM} = 1 - \frac{I_{TEM}^2 \cdot r + \Delta P_{const}}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + I_{TEM}^2 \cdot r + \Delta P_{const}} \tag{1}$$

where I_{TEM} – traction electric machine current;
 r – normalised resistance, taking into account both ohmic losses and other losses depending on the square of current;
 ΔP_{const} – value of conditionally constant losses;
 P_1 – input power (for a motor $P_1 = U \cdot I$);
 P_2 – output power (for a generator $P_2 = U \cdot I$).

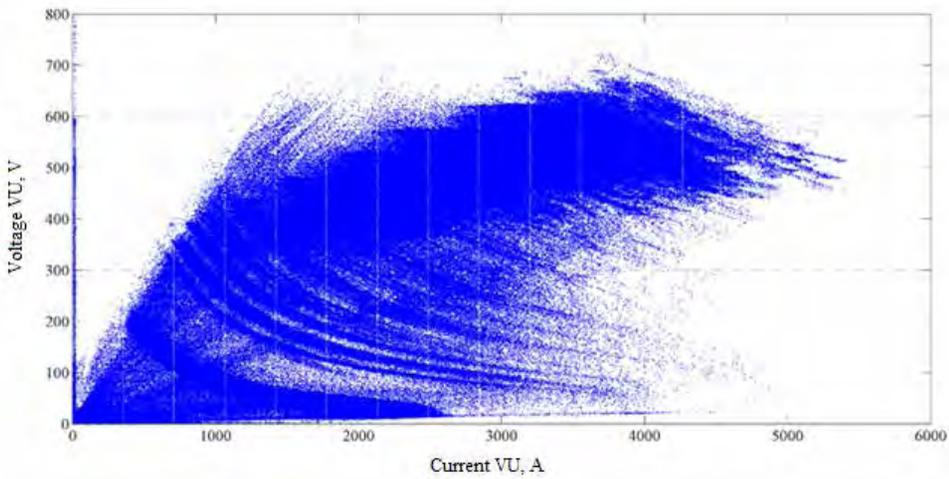
It can be seen from formula (1) that when voltage regulation is applied, the input power

changes, but the power losses in the electric machine remain the same, which leads to a significant decrease in the energy efficiency of traction electric machines (traction generator and traction motor). This is especially true when applying the classical hyperbolic external characteristic for electrical transmissions of direct or alternating current (Pic. 2). From the point of view of minimising losses depending on the square of current, it is advisable to apply the external traction characteristic in the form of a straight line, at a fixed voltage value, which is represented by the green line (straight line in the left upper part in BW) in Pic. 2.

The analysis of the data recorded by the on-board systems of TEP70BS, 2TE25K^M



Pic. 2. External and partial characteristics of traction generator [performed by the authors].



Pic. 3. The field of operating points of the traction generator of the TEP70BS diesel locomotive [performed by the authors].

diesel locomotives confirmed that traction electric machines operate for a long time with high currents and low voltages. An example is the field of operating points of the traction generator of the TEP70BS diesel locomotive (Pic. 3).

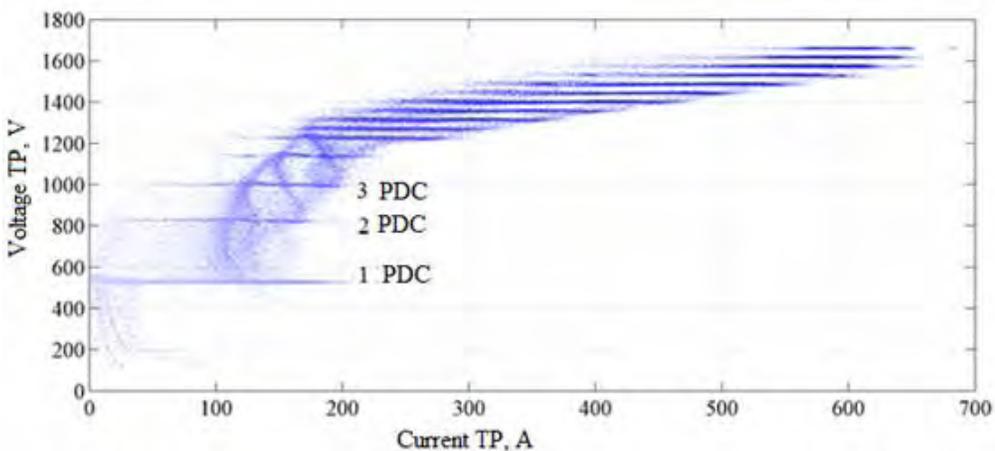
The analysis of the data for 2TE25A, with AC electric transmission and asynchronous traction drive, showed that each position of the driver's controller corresponds to its own voltage level of the synchronous generator, which is supported by the locomotive control system, which is shown in Pic. 4.

According to the results of data processing, it was found that maintaining a fixed voltage value

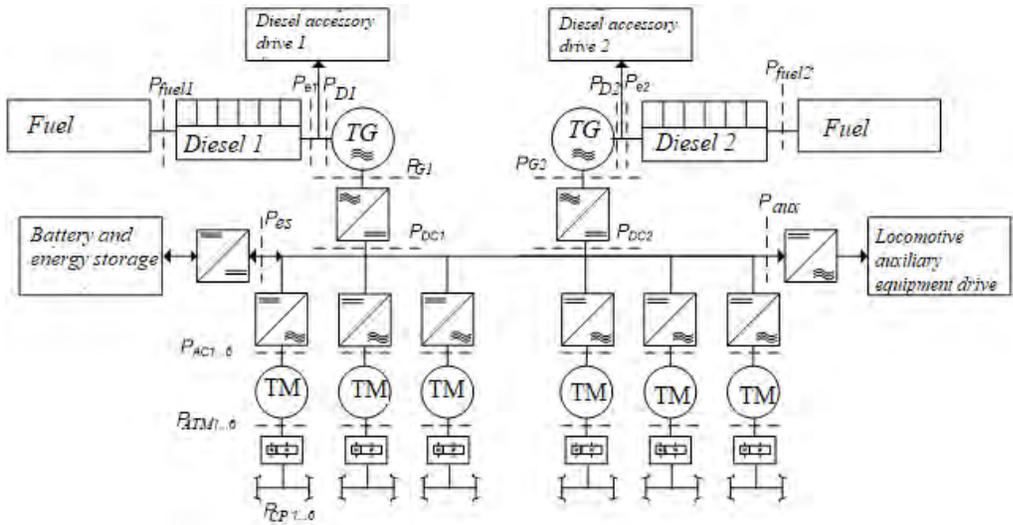
for each position made it possible to significantly reduce losses, which ensured an increase in the operational efficiency of the 2TE25A diesel locomotive synchronous traction generator by 2,5 % compared to a similar generator used on the TEP70BS diesel locomotive.

The analysis of the energy efficiency of the operation of diesel locomotives intended for various types of operation (cargo, passenger, and shunting) under operating conditions showed that:

- A high proportion of time refers to the diesel engine's idle: 40...50 % of time, regardless of the type of service.
- Operational efficiency factor of power for shunting diesel locomotive is 0,02.



Pic. 4. The field of operating points of the traction generator of the diesel locomotive 2TE25A [performed by the authors].



Pic. 5. Functional diagram of an energy-efficient power transmission [performed by the authors].

- Operating efficiency factor of power for mainline diesel locomotives was 0,24...0,3.
- Control of power transmission according to the hyperbolic characteristic increases the proportion of ohmic losses in all power elements of electrical power transmission.

Energy Efficiency Improvement Concept

The concept of increasing the energy efficiency of autonomous locomotives is to develop a locomotive design that allows quickly implementing the principle of load scalability, i.e., the ability of a distributed system to easily expand and contract its resources to adapt to heavier or lighter loads, while the use of traction and auxiliary equipment of the locomotive must be consistent with current operating conditions of the locomotive.

Therefore, when developing structural diagrams of a promising autonomous traction rolling stock, the following main provisions of the concept of increasing the energy efficiency of autonomous locomotives should be considered:

- The use of modular power plants will allow providing the required power in accordance with the current traffic conditions. The most promising is the use of two (for a freight locomotive) and four (for a passenger and shunting locomotive) power plants within the one and the same section of the locomotive. The number of power plants on freight locomotives is conditioned by the number of sections of a locomotive, i.e., for two-section

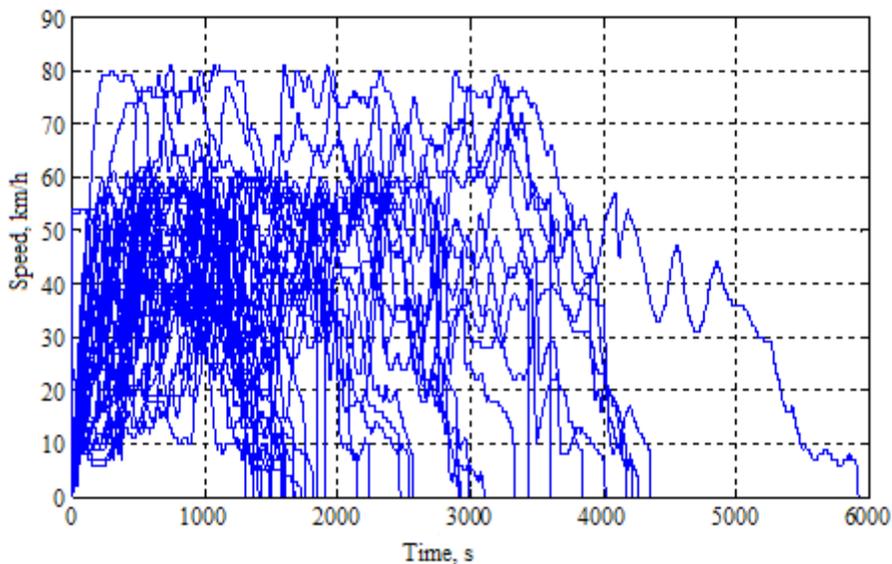
locomotive there will be four power plants, for three-section locomotive there will be six power plants.

- The use of a common DC (direct voltage) link with a fixed voltage value (at least 600 V) for all operating modes of traction and auxiliary equipment will allow developing uniform requirements for development, design and modular structure of locomotive equipment and reduce the share of losses depending on current load; besides, it becomes possible to use a traction generator in starter mode to start a diesel engine, and a modernised standard battery together with traction batteries as an energy storage device for short-term loading modes.

- Traction brushless motors are powered by autonomous voltage inverters of static converters connected to the DC link. Inverter control is individual with axial regulation of the moment of traction motors, with the possibility of full disconnection.

- The use of a two-level discrete-adaptive control [14] of energy efficiency of an autonomous traction rolling stock when operating it with a partial load will make it possible to rationally use the available power of each element of the locomotive traction equipment [17].

- Auxiliary equipment power supply should be provided by multi-channel static converters with independent channels, which will allow individual controlling of each element of auxiliary equipment, this will allow achieving simplification and unification of auxiliary



Pic. 6. A family of speed curves during movement of a 2TE25KM diesel locomotive with a maximum 5th PDC [performed by the authors].

equipment converters and reducing energy costs for the drive of auxiliary machines and units.

- The use of energy storage devices is advisable only after providing rational algorithms for direct and reverse electromechanical energy conversion in traction electric machines and rational energy consumption for own needs, which requires first applying the above basic provisions.

The functional diagram of energy efficient power transmission, using the example of a diesel locomotive, is shown in Pic. 5. In accordance with the functional diagram of the energy-efficient power transmission of a diesel locomotive, a common DC link is provided, to which all components of the traction equipment are connected, this solution makes it possible to implement the principle of a modular structure, two (as shown in Pic. 5) or four power plants can be used, all operating on a common DC link. The final choice of the number of diesel generator units is determined by the conditions of the track profile, the volume of cargo transported, and the type of operation of the locomotive. From the DC link, via converters of auxiliary needs controlled through multiple channels, power is also transmitted to electric machines of own needs of a locomotive.

The battery and the locomotive control circuits are powered from the DC link through

the DC-DC converter. The DC-DC converter is also designed to convert voltage when using an energy storage device of a small capacity to provide short-term operating modes, to exclude short-term starts of the second or subsequent power plant units of the locomotive. Thus, in the energy-efficient power transmission of the locomotive, not only modern brushless electric machines should be used, but also the energy efficiency of traction and auxiliary equipment should be controlled by multi-level optimisation of equipment operation modes (modular power plant, traction motors, auxiliary equipment) in real operation, which will significantly improve the energy efficiency of autonomous traction rolling stock.

Assessment of Application of the Concept for Operating Conditions

Let's consider the possibility of using a multi-diesel power plant for mainline locomotives on JSC Russian Railways railway network; for this, studies have been carried out on the number and total duration of trips (acceleration-movement-stop) for mainline locomotives, depending on the maximum used position of the driver's controller. Pic. 6 shows a family of speed curves during movement of a 2TE25K^M diesel locomotive with a driver's controller set at a maximum 5th position. 87 trips were identified for the period under review with a maximum duration of up to



**Operating time of diesel generator units (DGU)
modules of different versions [performed by the authors]**

A variant of a modular DGU for a section of a diesel locomotive		Operating time of DGU modules, %		
		2TE25KM	2TE25A	TEP70BS
two-diesel	1 DGU (0,5 LF)	73	58	60
	2 DGU (1,0 LF)	27	42	40
three-diesel	1 DGU (0,25 LF)	55	48	51
	2 DGU (0,5 LF)	18	10	9
	3 DGU (1,0 LF)	27	42	40
four-diesel	1 DGU (0,25 LF)	55	48	51
	2 DGU (0,5 LF)	18	10	9
	3 DGU (0,75 LF)	17	19	18
	4 DGU (1,0 LF)	10	23	22

1,65 hours. The total time of such trips was 25,62 hours.

An analysis of the research results showed that the use of a two-diesel power plant on mainline locomotives is advisable, because in about 30 % of cargo traffic trips, a diesel generator set is used with a power efficiency factor of no more than 0,5, and in up to 23 % of trips in passenger transportation.

If there is a possibility of operational control of operating diesel generator units in the process of movement, then the share of time attributable to modes with power efficiency factor no more than 0,5 increases to 50...60 %. Based on data processing, an assessment was made of operating time of diesel generator units as part of a modular design (the results are presented in Table 1; where LF is load factor), as well as the operating time of traction electric motors (TEM), with the possibility of using a discrete-

adaptive control system, which is shown in Table 2.

The analysis of the results presented in Tables 1 and 2 shows the need to apply the proposed concept for mainline locomotives, since the locomotive traction equipment operates in part-load modes for a long time, which leads to a decrease in the energy efficiency of energy conversion on the locomotive.

CONCLUSIONS

The analysis of the operating experience of mainline diesel locomotives has shown the need to use modular designs of traction equipment for autonomous locomotives, which underlies the proposed concept for improving energy efficiency. The results of locomotive on-board recorder data allowed to determine the operating time of the main traction equipment and to evaluate possible application

Table 2

Operating time of TEM [performed by the authors]

Number of TEM in traction	Operating time of TEM, %		
	2TE25KM	2TE25A	TEP70BS
1	41,4	22,4	30,4
2	20,8	15,9	11,8
3	12	15,9	12,5
4	8	12,2	11,4
5	16,8	19,2	29,9
6	1	14,4	4



of the proposed concept for current operating conditions. It was found that it is possible to achieve savings in diesel fuel by up to 20 %, of which 10 % thanks to an increase in the operational efficiency of electric power transmission and 10 % through the use of modular diesel generator units.

To date, the proposed concept has been implemented during a deep modernisation of a TEMP-1tt shunting diesel locomotive. As a result, during operation at Nizhny Tagil Iron and Steel Works, diesel fuel savings amounted to 20 % [18].

REFERENCES

1. Heghmanns, A., Wilbrecht, S., Beitelshmidt, M., Geradts, K. Parameter optimization and operating strategy of a TEG system for railway vehicles. *Journal of Electronic Materials*, 2016, Vol. 45, pp. 1633–1641. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11664-015-4145-2> [restricted access].
2. Gautam, A., Agarwal, A. K. Experimental investigations of comparative performance, emission and combustion characteristics of a cottonseed biodiesel-fueled four-stroke locomotive diesel engine. *International Journal of Engine Research*, 2013, Vol. 14, Iss. 4, pp. 354–372. DOI: 10.1177/1468087412458215 [restricted access].
3. Vitins, J. Dual-Mode and New Diesel Locomotive Developments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2012, Vol. 2289, Iss. 1, pp. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.3141/2289-06> [restricted access].
4. Bonsen, G. [et al]. Dual power locomotives for North America [Zweikraft-Lokomotiven fuer Nordamerika]. *Elektrische Bahnen-EB*, 2009, Vol. 107.
5. Let's get acquainted: TEM35 hybrid shunting diesel locomotive [Znakomtes: gibridniy manevrobny teplovoz TEM35]. *Lokomotiv*, 2013, Iss. 11 (683), pp. 36–37.
6. The terms of reference for development of the TEM9N «SinaraHybrid» locomotive were agreed [Soglasovano tekhnicheskoe zadanie na razrabotku gibridnogo teplovoza TEM9N «SinaraHybrid»]. *Lokomotiv*, 2011, Iss. 11 (659), P. 42.
7. Kim, S. I., Zhuravlev, S. N., Fedotov, A. B. Operating experience of ChME3 diesel locomotive with a two-diesel power plant [Opyt ekspluatatsii teplovoza ChME3 s dvukh dizelnoi silovoi ustanovkoi]. *Lokomotiv*, 2012, Iss. 11 (671), pp. 30–33.
8. Tishaev, A. S., Zaitsev, A. Yu. Three-diesel ChME3 ECO locomotive: With care for the future [Trekhdizelnyy lokomotiv ChME3 EKO: S zabotoi o budushchem]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2011, Iss. 4 (16), pp. 43–45.
9. Kolpahchyan, P., Zarifyan, A. (Jr). Study of the asynchronous traction drive's operating modes by computer simulation. Part I: simulation results and analysis. *Transport Problems*, 2015, Vol. 10, Iss. 2, pp. 125–136.
10. Popov, I. P. Inertial Capacitive Energy Storage Device for a Shunting Diesel Locomotive. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 3 (82), pp. 82–87. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-3-82-87.
11. Loginova, E. Yu., Kuznetsov, G. Yu. Improving Traction Characteristics of a Diesel Locomotive with a Hybrid Power Plant. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 3 (100), pp. 21–29. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-3.
12. Vasyukov, E. S., Babkov, Yu. V., Perminov, V. A., Belova, E. E. Energy efficiency of traction of cargo trains by 2TE25K «Peresvet» diesel locomotives [Energoeffektivnost tyagi gruzovykh poezdov teplovozami 2TE25K «Peresvet»]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2011, Iss. 1 (13), pp. 70–78.
13. Vasyukov, E. S., Babkov, Yu. V., Perminov, V. A., Belova, E. E. Energy efficiency of traction of cargo trains by new generation 2TE25A «Vityaz» diesel locomotives [Energoeffektivnost tyagi gruzovykh poezdov teplovozami novogo pokoleniya 2TE25A «Vityaz»]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2013, Iss. 3 (23), pp. 34–40.
14. Zarifyan, A., Obukhov, M. Electric Locomotives Energy Saving by the Discrete-Adaptive Traction Drive Control: Experimental Confirmation. 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, pp. 25–30. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559475.
15. Pugachev, A. A., Vorobiev, V. I., Mikhailchenko, G. S., Kosmodamiansky, A. S., Samotkanov, A. V. Energy indicators of quality of the electric drive of auxiliary systems of traction rolling stock [Energeticheskie pokazateli kachestva elektroprivodavspomogatelnykh sistem tyagovogo podvizhnogo sostava]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2015, Iss. 1 (48), pp. 58–66.
16. Babkov, Yu. V., Klimenko, Yu. I., Perminov, V. A. Direct and indirect methods for determining the energy efficiency factor of diesel locomotives [Pryamoi i kosvennyy sposoby opredeleniya urovnya energeticheskoi effektivnosti teplovozov]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2015, Iss. 3, pp. 55–60.
17. Zarifyan, A. [et al]. Increasing the Energy Efficiency of Rail Vehicles Equipped with a Multi-Motor Electrical Traction Drive, 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives, IWED 2019, Moscow, 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1109/IWED.2019.8664283.
18. Kireev, A. V., Kozhemyaka, N. M., Grebennikov, N. V. Modernisation of TGM6A shunting diesel locomotives: improving fuel efficiency [Modernizatsiya manevrovyykh teplovozov TGM6A: povyshenie toplivnoi ekonomichnosti]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog*, 2022, Iss. 4 (60), pp. 56–61. ●

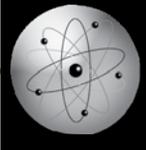
Information about the authors:

Grebennikov, Nikolay V., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Traction Rolling Stock of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, grebennikovnv@mail.ru.

Zarifyan, Aleksandr A., D.Sc. (Eng), Professor, Professor at the Department of Traction Rolling Stock of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, up_del@rgups.ru.

Article received 24.02.2023, approved 03.03.2023, accepted 15.03.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-2>

Evaluation of Influence of Seasonally Operating Cooling Devices on Thermophysical Processes of Soils of Railway Embankment Foundation



Taisia V. SHEPITKO



Igor A. ARTYUSHENKO

*Taisia V. Shepitko*¹,
*Igor A. Artyushenko*²

^{1,2} *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉ ² tywka351@mail.ru.

ABSTRACT

Construction in the regions of the Far North is characterised by numerous natural barriers, the presence of permafrost soils in the foundations of structures, the lack of infrastructure and extreme natural and climatic conditions. Thus, the most urgent task both in design and construction, and in further operation of transport infrastructure in the Arctic regions is to ensure reliability of the foundation of the structure.

To ensure reliability of structures designed on permafrost soils, it is necessary to carry out thermophysical calculations and make forecasts of the influence of temperature processes on the foundation soils.

The territory of the permafrost soils (PFS) occupies a large part of Russia, therefore, expanding the possibilities of using these

regions for development of the transportation network is an important strategic task for the state. Today, in accordance with the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025, the Arctic zone of the Russian Federation is a priority region in terms of economic growth and strategic impact.

The article analyses the impact of the technology of seasonally operating cooling devices on the foundation soils of Salekhard–Nadym section of the Northern Latitudinal Railway line (Kilometre points 2825+00 – PK 2830+00). The effectiveness of seasonally operating cooling devices on permafrost soils of the railway embankment foundation is shown in combination with heat-insulating material. The advantages and disadvantages of seasonally operating cooling devices are summarised.

Keywords: transport, permafrost soils, roadbed, earthworks, cryolithic zone.

For citation: Shepitko, T. V., Artyushenko, I. A. Evaluation of Influence of Seasonally Operating Cooling Devices on Thermophysical Processes of Soils of Railway Embankment Base. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss.1 (104), pp. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Permafrost soils (PFS) are widespread in the territory of the Russian Federation, particularly in the Arctic zone of the country, which is one of the priority regions from the point of spatial development, economic growth, transportation, particularly through the Northern Sea Route. Thus, reliability of foundation structures is among the most significant elements enabling the effectiveness of civil engineering projects and long-term operation of infrastructure. To ensure it during designing, construction and operation of structures in the PFS zone it is necessary to adopt modern technology and monitoring tools.

The *objective* of the study, whose main results are described in the article, is the study of the impact of seasonally operating cooling equipment on the foundation soils on the example of the Salekhard–Nadym section of the Northern Latitudinal Railway line.

RESULTS

Modelling of Thermophysical Processes during Construction of Transport Facilities on Permafrost Soils

When designing structures on permafrost soils, to ensure their reliability, it is necessary to carry out thermophysical calculations and analyse the effect of the temperature regime on the earthworks [1–3].

To assess the thermal interaction of the railway embankment with the foundation soils, thermophysical calculations were made at Salekhard–Nadym section of the Northern Latitudinal Railway (NRL) (kilometre points 2825+00 – PK 2830+00). These calculations were performed with the Frost 3D software

package, which has a certificate of conformity, a certificate of state registration of the software product and meets the requirements of the regulations RSN 67-68¹, SP 25.13330.2020², SP 116.13330.2012³, SP 11-105-97 part IV⁴.

The article analyses the influence of the temperature regime on the earthworks foundation and efficiency of seasonally operating cooling devices (SCD) at the above mentioned NRL section.

To calculate thermophysical properties and proceed with subsequent modelling of the temperature regime of soils, the data obtained from the results of engineering and geological surveys were used⁵ (Table 1).

The area subject to calculations was selected as a cross section of the embankment on

¹ RSN [*Republic's construction standards*] 67-87. Engineering surveys for construction. Prediction of changes in the temperature regime of permafrost soils by numerical methods. RSFSR, Gosstroy publ., 1988, 73 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/901708505>. Last accessed 09.02.2023.

² SP [*Construction rules*] 25.13330.2020 Bases and foundations on permafrost soils SNiP 2.02.04-88: NIIOSP n.a. N. M. Gersevanov, 2021. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/573659326>. Last accessed 09.02.2023.

³ SP [*Construction rules*] 116.13330.2012. Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological processes. Basic provisions. Updated edition SNiP 22-02-2003. Moscow, 2012, 65 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540>. Last accessed 09.02.2023.

⁴ SP [*Construction rules*] 11-105-97. Engineering and geological surveys for construction. Part IV. Rules for production of works in areas of distribution of permafrost soils. Moscow, 2000, 61 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200007407>. Last accessed 09.02.2023.

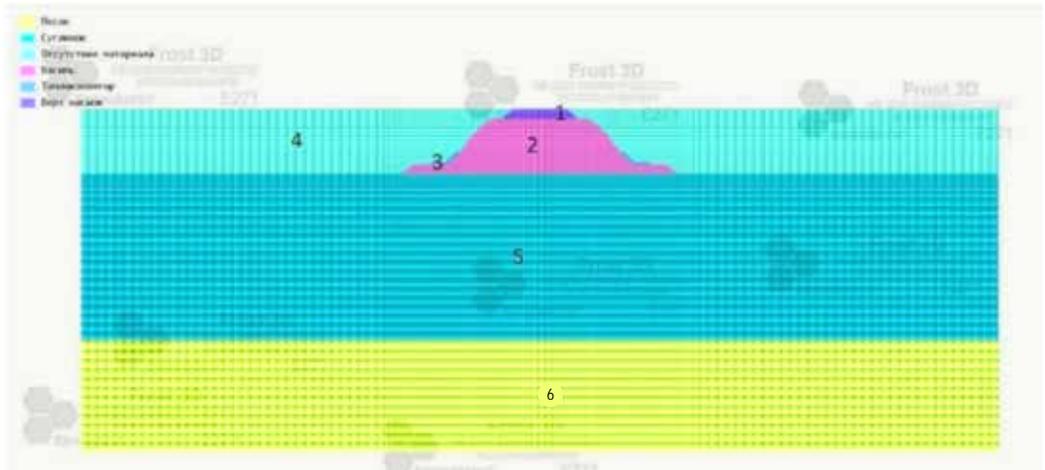
⁵ Working project. Construction of a new Obskaya–Salekhard railway line. LLC Mostostroy-12, 2012, 278 p.

Table 1

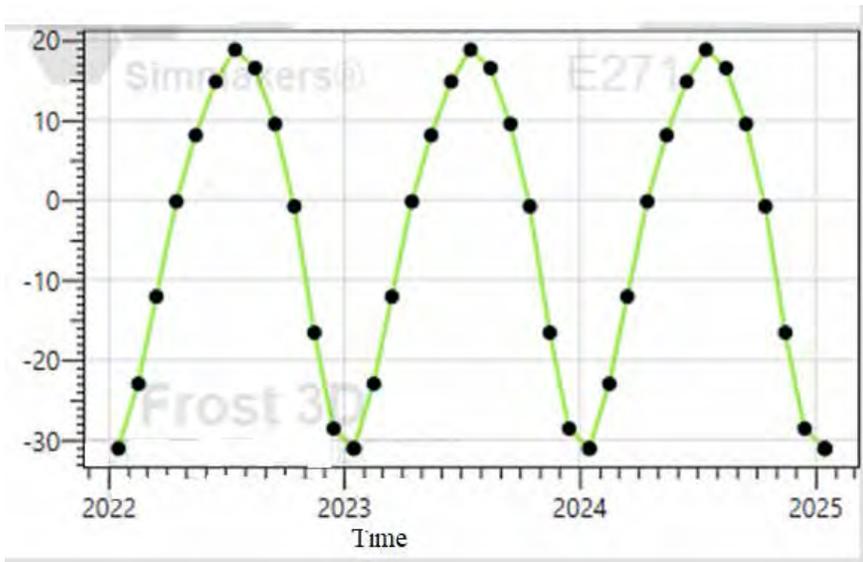
Engineering and geological elements and thermophysical properties of soils used in modelling a geocryological forecast [performed by the authors]

Name	Humidity, unit fraction	Density of dry soil, kg/m ³	Thermal conductivity, λ W/(m•K)		Specific heat capacity, °C kJ/(m ³ •K)		Freezing start temperature
			Frozen	Melted	Frozen	Melted	
Loam	0,25	1600	1,68	1,51	2,35	3,15	-0,20
Top of the embankment	0,05	1900	1,51	1,45	2,18	2,35	-0,05
Sand	0,38	1220	1,79	1,57	2,14	3,13	-0,28
Embankment	0,20	1400	1,86	1,57	1,89	2,48	-0,05





Pic. 1. Computational area at kilometre point PK 2825 presented in the Frost 3D software package: 1 – top of the embankment; 2 – embankment; 3 – heat insulator; 4 – lack of material; 5 – loam; 6 – sand [performed by the authors].



Pic. 2. Graph of temperature distribution per years [performed by the authors].

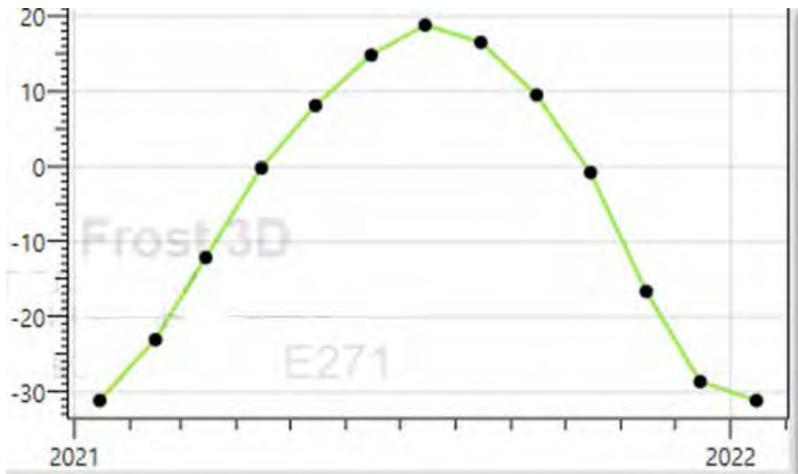
kilometre point 2825+00, which is a rectangular area of 15 m vertically and 50 m horizontally. This size of the calculation area captures all adjacent soils of the foundation and embankment for subsequent calculations. Pic. 1 shows the computational area with the contour breakdown of the soils used.

To model thermophysical properties, calculations were carried out to predict temperatures. While predicting temperatures, in each calculation area one can notice approximately the same temperature distribution graphs over the years (Pic. 2). The calculation is based on the temperature distribution graph for last available year data (Pic. 3).

Temperature data values for 2021 are presented in Table 2.

The calculated period of thermophysical properties was of 15 years (from January 15, 2022 to January 15, 2037), which showed changes in temperature fields.

Thermophysical models obtained during modelling with the Frost 3D software package are shown in Pics. 4 and 6. Comparing two models, it can be seen that initially there was a thawed zone in the body of the embankment, but with time its dimensions decrease to a minimum, and after freezing of the body of the embankment, the thawed zone is completely absent. Freezing occurs in the upper part of the

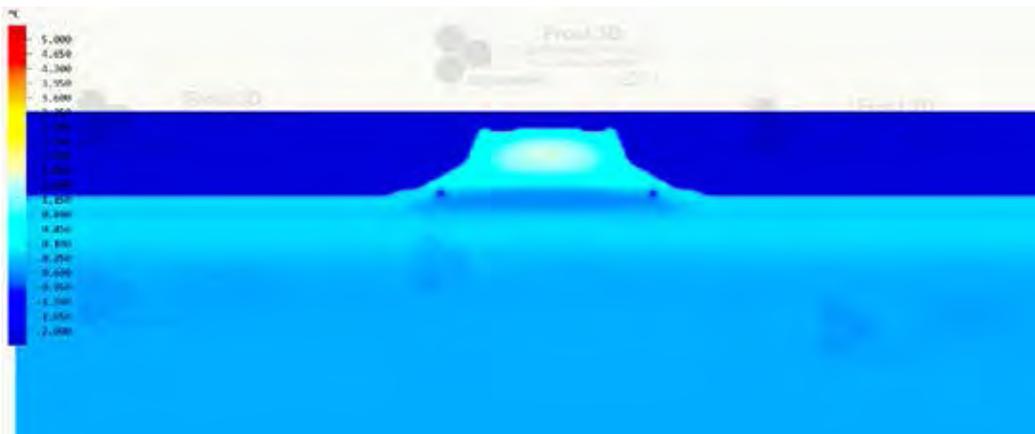


Pic. 3. Temperature distribution graph as for 2021 [performed by the authors].

Table 2

Temperature distribution table as for 2021 per months [performed by the authors]

Date	15.01.2021	15.02.2021	15.03.2021	15.04.2021	15.05.2021	15.06.2021	15.07.2021	15.08.2021	15.09.2021	15.10.2021	15.11.2021	15.12.2021	15.01.2022
Degrees	-31,1	-23	-12,1	-0,2	8,1	14,8	18,8	16,5	9,5	-0,8	-16,6	-28,6	-31,1



Pic. 4. Thermophysical model built in Frost 3D as for January 15, 2022 [performed by the authors].

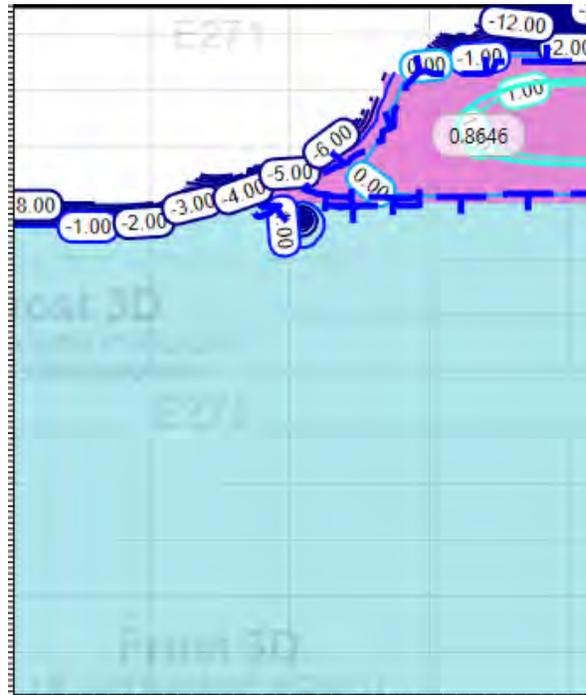
embankment, which can be seen in the graphs of the distribution of temperature fields in Pics. 5 and 7.

Soils in the permafrost zone undergo seasonal thawing and freezing in the active layer. The active layer is the upper part of the permafrost, the change of which, following the change in heat transfer on the surface, leads to development of dangerous cryogenic processes [4; 5].

Based on the calculation results, the following conclusions can be drawn.

During the initial calculation for 2022, a thawed zone was identified in the centre of the embankment body. A thawed zone of this size can cause subsidence of the foundation soils and cause a violation of stability of the embankment. There is no thawed zone in the 2037 model, which is an important factor for ensuring stability of the embankment.





Pic. 5. Graph of distribution of temperature fields as for January 15, 2022 [performed by the authors].

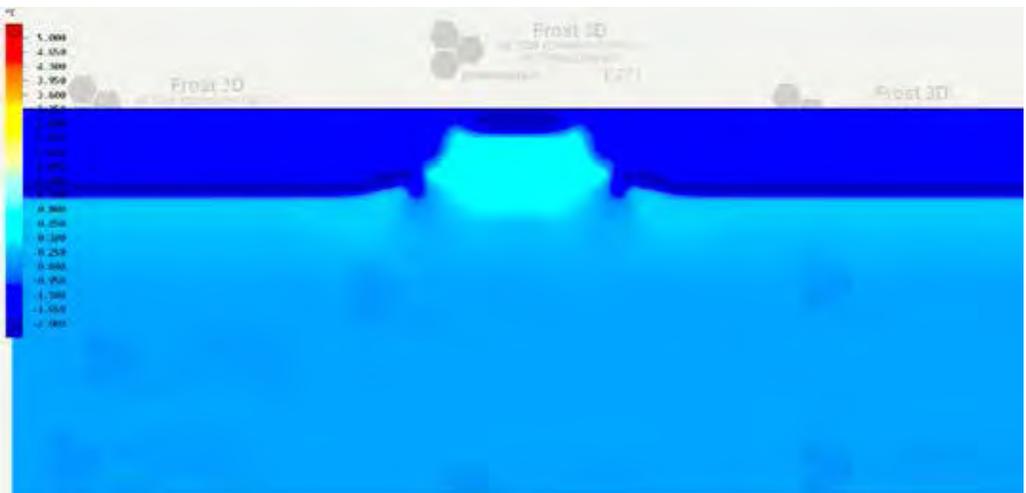
Due to the results obtained, described in [6; 7], it is known that a post-cryogenic structure can appear within several years as a result of passage of cycles of freezing/thawing. The construction of the embankment leads to a change in the temperature regime of the foundation soils due to disturbance of the natural cover, which is clearly seen from the change in temperature fields over 15 years of the existence of the embankment. This leads to a decrease in ice-cementing bonds in frozen soils, as a result of which their strength characteristics decrease, which leads to an

increase in deformations of the subgrade foundation [8].

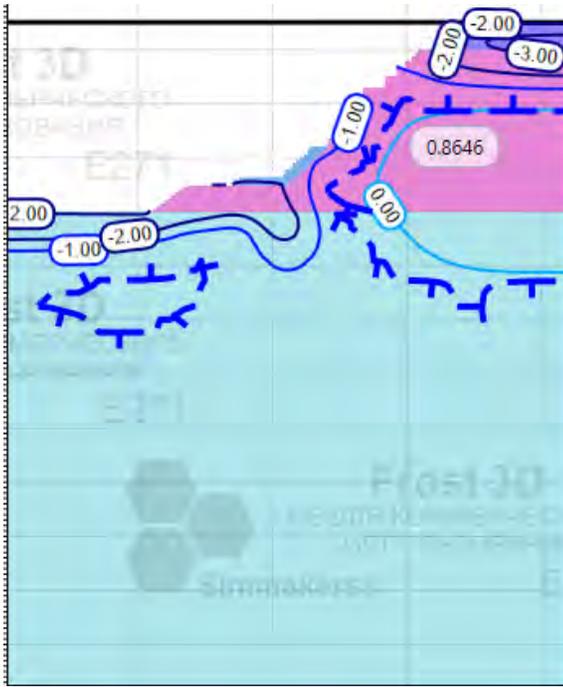
Modelling the Use of Seasonally Operating Cooling Devices (Using the Frost 3D Software Package)

The Frost 3D software package has extensive capabilities in calculating soil thermal stabilisation.

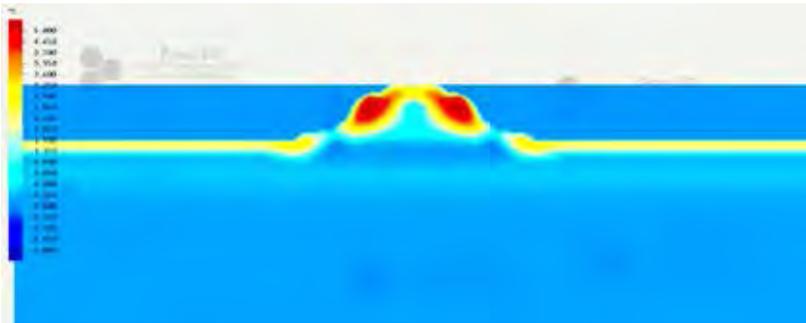
The studies [9–11] have disclosed the problem of thermal stabilisation of the temperature regime of the soils of the earthworks



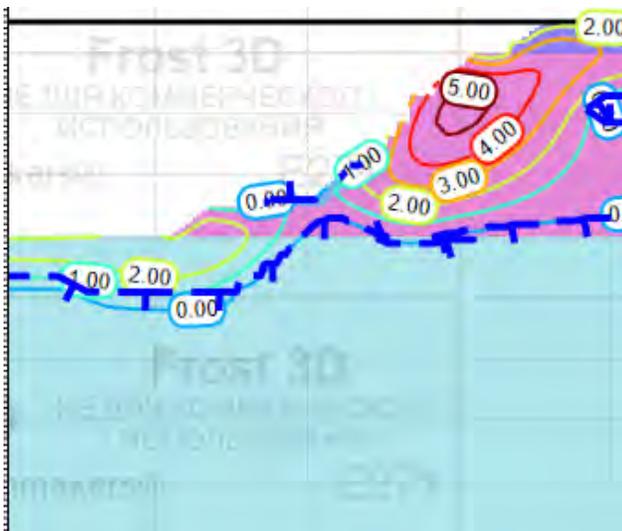
Pic. 6. Thermophysical model built in Frost 3D as for 15.01.2037 [performed by the authors].



Pic. 7. Graph of distribution of temperature fields as for 15.01.2037 [performed by the authors].

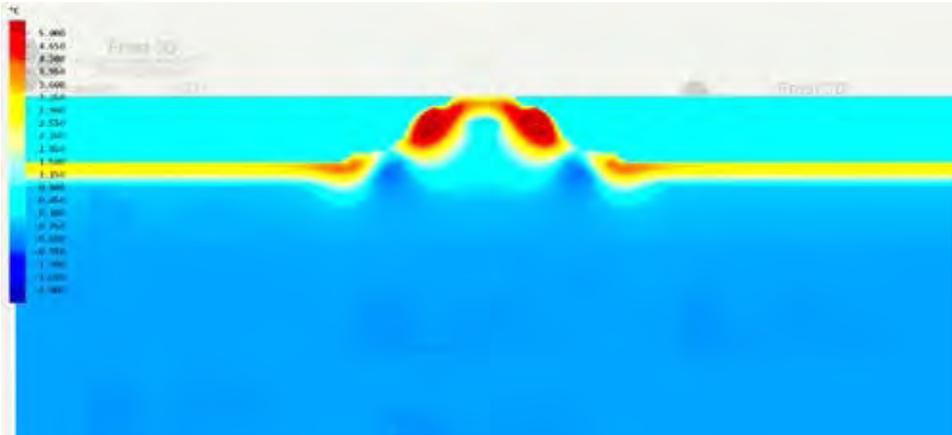


Pic. 8. Thermophysical model using SCD technology built in Frost 3D as for 15.10.2022 [performed by the authors].

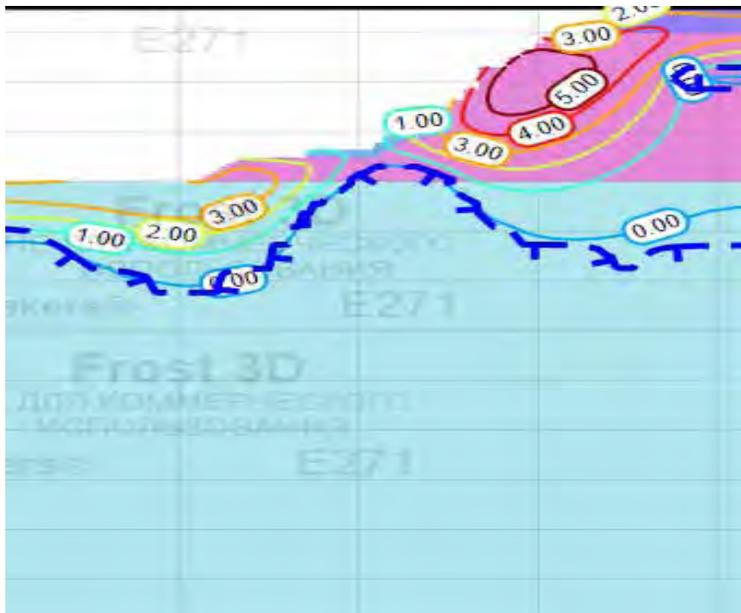


Pic. 9. Graph of distribution of temperature fields using SCD technology as for 15.10.2022 [performed by the authors].





Pic. 10. Thermophysical model using SCD technology built in Frost 3D as for 15.10.2037 [performed by the authors].



Pic. 11. Graph of distribution of temperature fields using SCD technology as for 15.10.2037 [performed by the authors].

foundation to preserve the soils of the foundation in a frozen state and to prevent emergence of deformations in the foundation of the embankment.

The technologies for providing thermal stabilisation of permafrost soils comprise particularly the use of seasonally operating cooling devices (SCD) installed along the railway track.

The methodology for calculating the installation sites of seasonally operating cooling devices adopts mathematical solutions for cooling and freezing the soil around the cooling device [12–14].

When solving the problem of heat transfer between SCD and the soil, the system of differential equations (1) [15] is considered:

$$\begin{cases} c(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} * \frac{\partial \left(r \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right)}{\partial r} + \frac{\partial \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right)}{\partial z}; & (1) \\ \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} = K_s(v)(T - T_v(\tau)), \end{cases}$$

where r, z – are coordinates within the system of cylindrical coordinates;

τ – time;

$c(T)$ – effective volumetric heat capacity of rocks;

$\lambda(T)$ – coefficient of thermal conductivity;

$K_s(v)$ – evaporator thermal conductivity.

The use of the technology of SCD during construction and operation of the embankment has a positive effect on the temperature indicators of the foundation soils, and at the same time on

physical and mechanical characteristics of these soils. To analyse the effectiveness of SCD, let's compare thermophysical models without the use of technology and with it (Pics. 6, 8).

In Pic. 6, as described above, there is a thawed zone in the centre of the embankment, which affects stability of the embankment. Compared to it, in Pic. 8, during the most dangerous month (October), the thawed zone progresses in the upper area, on the slopes and at the base of the embankment. SCD has a positive effect on the foundation soils, reducing the thawed zone at the slope boundaries. In Pic. 10, it can be seen that due to the influence of SCD and the heat-insulating material, the cooling zone grows, contributing to an increase in the strength characteristics of soils and stability of the embankment.

Comparing the models in Pics. 9 and 11, it can be seen that for 15 years there has been an active influence of positive temperatures, but due to the work of seasonally operating cooling devices and heat-insulating materials, the thawed zone has not spread so actively, preserving the zone of frozen soil.

CONCLUSIONS

Based on modelling of thermophysical processes within Salekhard–Nadym section of the Northern Latitudinal Railway line (kilometre points PK 2825+00 – PK 2830+00), the following conclusion can be drawn: the use of the technology of seasonally operating cooling devices has a positive effect on the foundation soils. However, the use of SCD is effective only when using the first principle of construction of soil structures: preservation of permafrost soils in a frozen state.

A significant disadvantage of operation of SCD is the need for their maintenance to ensure the efficient operation of those devices.

REFERENCES

1. Shepitko, T. V., Artyushenko, I. A., Dolgov, P. G. Base Soil Reinforcement with Vertical Crushed Stone Columns in Cryolithozone. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 4, pp. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-68-78>.

2. Shepitko T. V., Artyushenko I. A. The influence of vertical columns of crushed stone on the cryogenic processes of the soil base of the subgrade. *Russian Journal of Transport Engineering*, 2019, Vol. 6, Iss. 4, 11 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.15862/10SATS419>.

3. Zheleznyak, I. I. Reliability of frozen foundations of structures [*Nadezhnost merzlykh osnovanii sooruzhenii*]. Novosibirsk, Nauka publ., 1990, 174 p. ISBN 5-02-029655-4.

4. Grechishchev, S. E., Chistotinov, L. V., Shur, Yu. L. Cryogenic physical-geological processes and their forecast [*Kriogennye fiziko-geologicheskie protsessy i ikh prognoz*]. Moscow, Nedra publ., 1980, 383 p.

5. Lutskii, S. Y., Roman, L. T. Technological control of permafrost soil characteristics in roadbeds. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2017, Iss. 3, pp. 26–30. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30558316> [paid access].

6. Tsytoovich, N. A. Bases and foundations on frozen soils [*Osnovaniya i fundamenti na merzlykh gruntakh*]. AS USSR publ., 1958, 168 p.

7. Kondratiev, V. G. New methods and technologies of managing the state of the body and foundation soils of a railway subgrade on permafrost. *Geotekhnika journal*. Moscow, LLC Geomarketing, 2011, Iss. 2, pp. 28–40. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17649375> [restricted access].

8. Kudryavtsev, S. A., Sakharov, I. I., Paramonov, V. N. Freezing and thawing of soils (practical examples and finite element calculations) [*Promerzanie i otaitvanie gruntov (prakticheskie primery i konechno-elementnie raschety)*]. St. Petersburg, Georekonstruktsiya publ., 2014, 247 p. ISBN 978-5-9904956-3-0.

9. Ashpiz, E. S., Khrustalev, L. N. Prevention of degradation of permafrost soils at the base of railway embankments. *Earth's cryosphere*, 2020, Vol. 24, Iss. 5, pp. 45–50. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-5(45-50).

10. Jiankun, Liu; Yahu, Tian. Numerical studies for the thermal regime of a roadbed with insulation on permafrost. *Cold Regions Science and Technology*, 2002, Iss. 35, pp. 1–13. DOI: 10.1016/S0165-232X(02)00028-9.

11. Zolotar, I. A., Puzakov, N. A., Sidenko, V. M. Water-thermal regime of subgrade and pavement [*Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd*]. Moscow, Transport publ., 1971, 414 p.

12. Ibragimov, E. V., Kronik, Ya. A., Kuplinova, E. V. Experimental Studies of Innovative Design of Soil Heat Stabilizers. *Vestnik of TSUAB*, 2014, Iss. 4, pp. 208–220. [Electronic resource]: <https://www.elib.tomsk.ru/elib/data/2018/2018-1092/2018-1092.pdf>. Last accessed 21.02.2023.

13. Ibragimov, E. V., Kronik, Ya. A., Pustovoi, G. P. Experience in the use of heat pumps as systems for thermal stabilisation of soil in permafrost [*Opyt ispolzovaniya teplovykh nasosov v kachestve sistem termostabilizatsii grunta v kriolitozone*]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2015, Iss. 5, pp. 23–26. [Electronic resource]: <https://www.nponorth.ru/nauchnaya-deyatelnost/publikacii/articleibragimov.pdf>. Last accessed 21.02.2023.

14. Dolgikh, G. M., Okunev, V. N. Freezing and temperature stabilisation systems for soils in the permafrost zone, used by LLC NPO Fundamentstroyarkos. *Proceedings of IX scientific-technical conference «Simulation of artificial cold freezing technologies»*, 2003, pp. 123–129.

15. Kovalkov, V. P., Pronyaeva, T. I. Soil freezing intensification in oil and gas construction [*Intensifikatsiya zamorazhivaniya gruntov v neftegazovom stroitelstve*]. Moscow, Informneftegazstroy publ., 1981, 51 p. ●

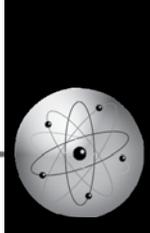
Information about the authors:

Shepitko, Taisia V., D.Sc. (Eng), Professor, Director of the Institute of Track, Civil Engineering and Structures of Russian University of Transport, Moscow, Russia, shepitko-tv@mail.ru.

Artyushenko, Igor A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Design and Construction of Railways of Russian University of Transport, Moscow, Russia, tywka351@mail.ru.

Article received 22.02.2023, approved 03.03.2023, accepted 13.03.2023.





Issues of Developing Equal-Strength Two-Layer Spherical Rubber-Metal Hinges



Andrey S. KOSMODAMIANSKY



Vladimir I. VOROBIEV



Oleg V. IZMEROV



Dmitry Yu. RASIN



Dmitry N. SHEVCHENKO

**Andrey S. Kosmodamiansky¹, Vladimir I. Vorobiev², Oleg V. Izmerov³,
Dmitry Yu. Rasin⁴, Dmitry N. Shevchenko⁵**

^{1, 5} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

^{2, 3, 4} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia.

✉ ¹ askosm@mail.ru.

ABSTRACT

Development of equal-strength two-layer spherical rubber-metal hinges (RMH), described in the paper, is associated with the problem that with an equal thickness of the layers of rubber bushings and an equal opening angle, there is a significant difference in their radial stiffness and relative deformation of the rubber. With hinge dimensions corresponding to those of the hinges used in the undercarriage of locomotives, there is a difference in relative deformation of inner and outer bushings by about 1,5 times. As a result, it is proposed to determine the load capacity of spherical two-layer RMH by the value of relative deformation of the rubber of the most loaded bushing. Also, studies have been carried out on the possibilities of creating a uniformly deformable design of a spherical two-layer RMH.

To determine the characteristics of a spherical rubber-metal hinge, applied digital computer modelling based on the finite element method. A proposed parametrised geometric model of a spherical two-layer RMH and a finite element model of an elastic bushing offer the ratio of radial stiffnesses of outer and inner bushings, which is close to the preliminarily determined one,

based on the equations of the theory of elasticity in displacements in a spherical coordinate system.

It has been established that to achieve uniform elasticity by changing the opening angle, the opening angle of the outer reinforcement of RMH should be approximately 1,5 times less than the opening angle of the inner one. This makes it possible to reduce the width of outer reinforcement of RMH by 25 % but raises the problem of strength and rigidity of outer edges of intermediate reinforcement. Also, equal elasticity of hinge bushings can be achieved due to their different thicknesses, while to achieve non-uniform stiffness of bushings within $\pm 5\%$, it is required to ensure that deviation of the intermediate cage diameter during hinge manufacture is less than $\pm 0,1\%$.

The obtained research results prove the practical possibility of creating an equally strong (with equal bushing rigidity) spherical two-layer RMH. The issue of searching for a compromise design of RMS, acceptable from the point of view of loading of the intermediate cage and of the requirements for manufacturing accuracy, requires further study.

Keywords: locomotive traction drive, spherical rubber-metal hinge, reliability, design.

For citation: Kosmodamiansky, A. S., Vorobiev, V. I., Izmerov, O. V., Rasin, D. Yu., Shevchenko, D. N. Issues of Developing Equal-Strength Two-Layer Spherical Rubber-Metal Hinges. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 162–170. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-3>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

Object of the Study and Description of the Problem

Spherical rubber-metal hinges (RMH), which do not require maintenance during operation, are widely used in the nodes of transport vehicles in domestic and foreign practices, in particular, in the nodes of the undercarriage of railway vehicles (2ES6, 2TE25A, EP20 locomotives, etc.). This determines the relevance of development of methods for calculation and design of RMH, as well as of the search for new designs of spherical RMH with a higher load capacity compared to world counterparts.

Previously, the authors of [1], based on the research using mathematical modelling, found that rigidity of two-layer spherical rubber-metal hinges (RMH) in the radial direction can be 6,3 times higher than that of single-layer ones, all other conditions being equal. This means that at a rubber hardness of 70–80 units according to Shore and with the same dimensions, as of the hinge of the suspension of the 2ES6 traction electric motor (outer diameter of 120 mm), radial stiffness of the hinge should average about 620 kN/mm, which is almost three times higher than radial stiffness of the hinge 13–4007 of Trelleborg Antivibration Solutions (Sweden), having an outer diameter of 127 mm, and seven times higher than radial stiffness of the hinges 13–1180 and 13–2624 of the same dimensions of the same manufacturer. Thus, double-layer hinges make it possible to significantly surpass the load capacity of single-layer hinges of some foreign manufacturers, using domestic materials and components and domestic technological base.

However, it should be taken into account that if for a single-layer spherical RMH, as a criterion for assessing the allowable radial loads, it is possible to use the value of the relative compression strain of the rubber layer, determined by the radial deformation of the entire RMH, as suggested in [2], then in a two-layer one, it is also necessary to consider that relative deformation of the RMH outer and inner rubber bushings can be different. Let's explain this with the following example.

The works [3; 4], based on the equations of the theory of elasticity in displacements in a spherical coordinate system, propose the following formula for determining radial stiffness of single-layer spherical RMH, kN/mm:

$$s_r = 6\pi GR_1 \frac{\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-1} - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^4}{5 - 4,5 \left[\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-2} \right] + 2 \left[\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{-3} \right]}$$

where G – shear modulus, mPa,

R_1 – outer cage sphere radius, mm;

R_2 – inner cage sphere radius, mm.

According to studies [5], calculations of stiffness of rubber-metal elements based on dependences given analytically are usually approximate, so we will evaluate the ratio of stiffness using formula (1).

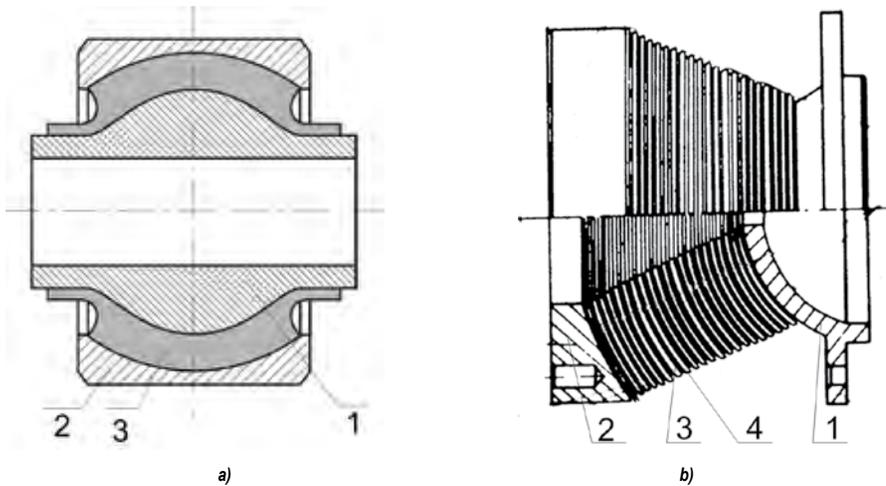
Let us imagine a two-layer spherical hinge in the form of two single-layer ones with the same opening angle, for which the intermediate sleeve is internal and external, respectively. As an example, let's take the hinge used in the suspension according to the drawing of 2TE25A diesel locomotive, provided that the rubber layer is separated in the middle by an intermediate sleeve 2 mm thick. Then for the outer layer $R_1 = 55$ mm, $R_2 = 51$ mm; for the inner layer, respectively, $R_1 = 49$ mm, $R_2 = 45$ mm. We conditionally accept the value $G = 1,4$ MPa, since in the example under consideration the absolute value of stiffness is not of interest. Substituting these data into formula (1), we obtain the ratio of radial stiffness of outer and inner bushings $s_{ro}/s_{rin} = 1,5$. This example shows that with a simple separation of the rubber layer by an intermediate sleeve and the application of a radial load, the radial deformation of the rubber in the outer and inner layers will differ significantly, as a result of which the strength and durability of a spherical two-layer RMH under the influence of a radial load cannot be estimated based on the total radial deformation of RMH, correlated with total thickness of rubber layers.

There are two ways to approach this problem when designing a hinge.

Firstly, we can consider the relative deformation of the rubber layer only for the inner, most loaded bushing, assuming that the load on the outer one will be less. This approach is the simplest but leads to additional material consumption in manufacture of the outer sleeve, which has a deliberately overvalued load capacity.

Secondly, one can try to create an equal-strength structure with the same relative deformation of the outer and inner bushings. However, implementation of this approach is hampered by the fact that today not only is there





Pic. 1. Schemes of spherical RMH: a – single-layer; b – thin-layer rubber-metal elements (TLRME); 1 – inner cage; 2 – outer cage; 3 – rubber layer; 4 – intermediate cage (reinforcement).

(E.g., Sokhan, O. N. *Designing bushings of rotors for helicopters: Study guide*. Moscow, MAI publ., 1981, 56 p. [Electronic resource]: https://periydoc.ru/v5091/soxanh_o_n_konstruivovanie_vtulok_nesushch_vintov_vertolotov. Last accessed 24.10.2022).

no generally accepted method for optimising the parameters of two-layer hinges, but the very possibility of creating equal-strength hinges without significantly complicating their manufacturing technology has not been proven.

The *objective* of this article is an attempt to solve this problem.

Analysis of the Problem and Search for Methods to Solve It

First, it should be noted that at the moment two-layer spherical RMH have no structural analogues produced by foreign companies, and the authors have not found any scientific publications on creation of equally strong structures of two-layer spherical RMH at the time of writing. Moreover, practically no patent solutions have been found for equal-strength designs of such hinges. So, in the patent [6], the rubber of the bushings does not close after assembling the hinge, which increases the free surface of rubber bushings and reduces radial stiffness of the hinge, and, consequently, its load capacity, while, as far back as in [7], the authors proposed hinge, after assembly of which there is no internal cavity. Studies [3] found that for a single-layer hinge, when the gap between the outer bushings is closed, radial stiffness, and, accordingly, the load capacity, increases by 1.7...2 times.

Theoretical studies of multilayer rubber-metal elements are currently being carried out in the field of flat supports (for example, in [8]), as well as of spherical rubber-metal thrust bearings

with a side surface close to conical [9], the nature of deformation of which under radial loading differs from the nature of deformation of a rubber layer of spherical RMH used in the undercarriage of rail vehicles.

The *analysis* of designs of spherical RMH used in various fields of technology, carried out by the authors, showed that today two approaches to the design of these products have spontaneously developed (Pic. 1a, b).

Single-layer spherical RMH (Pic. 1a) are designed and manufactured by the main foreign manufacturers (Trelleborg, GMT Rubber-Metal-Technik LTD, Vulcanite, Vibrachok-Paulstra, etc.) as general machine engineering products. According to the catalogues of companies, the products are RMHs with a detachable three-segment outer cage with radial connectors, with a rubber bushing opening angle close to the maximum possible for structural and technological reasons (the strength of the axis on which the hinge is mounted, or wedges for fastening and the ability to manufacture RMH by the method pressing or casting) and close to 90°. The thickness of the rubber bushing is taken within approximately 15...25 % of the radius of the outer spherical surface of the rubber bushing. The choice of such parameters is mainly dictated by the desire to obtain the highest load capacity of RMH with a single-layer structure and the requirements for maximum angles of rotation and skew within 7...10°.

Spherical thin-layer rubber-metal elements (TLRME), also referred to in the domestic

technical literature as spherical elastomeric bearings (Pic. 1b), are used in the attachment points of main rotors of domestic and foreign helicopters [10]. As a rule, they are thrust bearings made of many alternating layers of rubber 1–1,2 mm thick and of metal 0,8–1 mm thick, glued together [11] in the form of a truncated spherical cone with a hole. The shape of RMH is determined not by the requirements of uniform strength, but by the stability conditions of a rubber-metal package having a base width less than its height during movement of nodes and the application of loads. According to [11], the service life of a spherical TLRME is limited to four years due to the condition of rubber aging. As established in [12–14], the mathematical modelling of operation of TLRME is preliminary, since «taking into account the complexity of the physical and mechanical transformations... in the process of cyclic deformation of rubber, the specific composition of the material, the influence of the dynamic component of the load, the scale factor, frequency and speed of loading, functional purpose and reliability requirements, the cyclic strength of TLRME requires experimental confirmation on full-size models» ([12]).

Thus, the analysis of the existing experience in creation of RMH did not allow us to identify the empirical ratios of parameters that ensure the equal strength of the structure, therefore, the authors decided to carry out further search by the *method* of mathematical modelling.

The analysis of design of a spherical two-layer RMH showed that achievement of the same relative radial deformation of the outer and inner rubber bushings can be achieved in the following ways:

- a) Use of rubber of different hardness for the outer and inner bushings with the same thickness of the bushings and equal opening angles.
- b) Changing the shape factor for the outer sleeve by reducing its opening angle.
- c) Different thicknesses of outer and inner sleeves.
- d) An increase in the free surface of the outer sleeve, for example, due to incomplete closure of the parts of the sleeve during the installation of RMH.

It is difficult to implement the method «a» in practice, and not so much because of the technological difficulties of pressing or casting two different rubber mixtures into a mould, but because of a significant spread in the hardness values of rubber of the same brand, as a result of

which the ratio of the shear modulus values for different batches of products will vary significantly. It is also technologically difficult to provide the required shape and dimensions of the voids at the junction of the hinge parts during installation in the case of using the «d» method. In this regard, the authors decided to conduct research regarding options «b» and «c». The task of modelling was to check the possibility of achieving an equal value of the relative radial deformation of the outer and inner bushings while maintaining the geometric parameters of RMH, which make it possible to manufacture it by pressing or casting.

Creation of a Parameterised Mathematical Model

The calculation of spherical RMH by the finite element method (FEM) is associated with certain difficulties caused by variability of rubber properties [15] and other features previously noted by the authors in [1]. To solve the problem, a calculation scheme was formed, which is a three-dimensional finite element model of a quarter of RMH elastic bushing. The allocation of a quarter is due to the symmetry of RMH in two mutually perpendicular planes. This will lead to a reduction in the dimension of the problem, as well as will increase the convenience of processing the results.

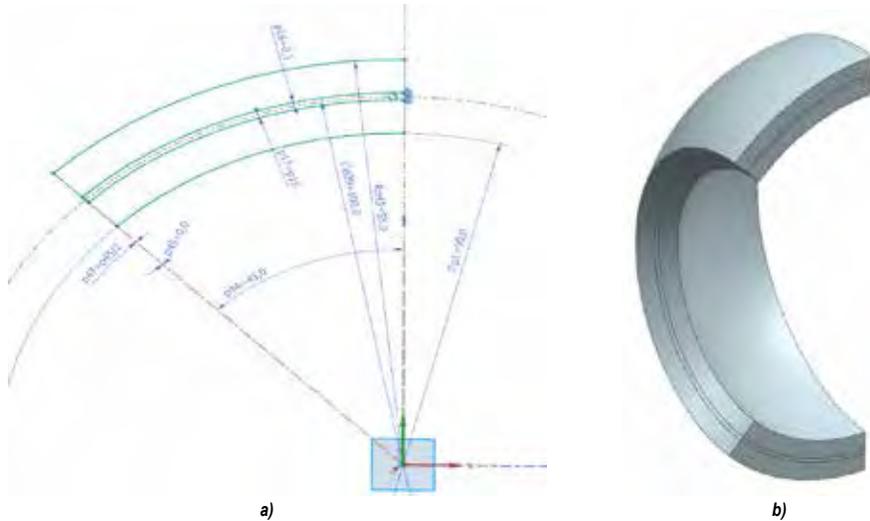
The calculation scheme was formed on the basis of a solid-state three-dimensional model (Pics. 2, 3), during creation of which the values of the opening angles of the outer, inner, and intermediate sleeves were established by parametric dependencies, which allows automatically rebuilding the calculation scheme in multivariate calculations.

The finite element mesh is made with hexahedral volumetric elements with a breakdown dimension of 1,5 mm. As the material of outer and inner rubber layers, an orthotropic material is used, which has a linear force characteristic, which is true for small displacements of the inner ring of the hinge, according to experimental data. Standard steel was chosen as the material of the inner spacer sleeve, $E = 210000 \text{ MPa/mm}^2$, $\mu = 0,3$.

At the central point of RMH there is a connecting element that connects it to all nodes of the inner surface of the elastic sleeve by absolutely rigid links.

In space, the calculation scheme is attached to the surface of the elastic bushing, which is in





Pic. 2. Parameterised geometric model of a spherical two-layer RMH, adopted by the authors for modelling: a – main parameters of the model, b – geometric model of the elastic bushing.

contact with the outer ring of the hinge, by a rigid seal. Corresponding symmetrical bonds are imposed on the surfaces located on cutting planes. The middle node is given a forced movement of 1 mm in the radial direction.

The analysis of the stress-strain state of the elastic bushing showed that at equal opening angles of the upper, middle, and inner bushings of RMH equal to 90°, the displacements of the nodes of the middle bushing in the zone of maximum deformation are almost the same, which indicates that the deformations of the intermediate bushing (steel reinforcement) are negligible in comparison with the deformations of the rubber layers (Pic. 4).

With total movement of nodes in the radial direction by 1 mm, the deformation of the outer

rubber layer was 0,397 mm. The displacement of the lower node of the inner rubber sleeve is 1 mm, and of the upper node is 0,398, then the total deformation of the inner layer along the median axis of RMH will be $1 - 0,398 = 0,602$ mm. In other words, the absolute deformation of the inner layer is 1,5 times greater than that of the outer one (and, consequently, the relative deformation of the rubber of the layers, since their thickness is the same in this case).

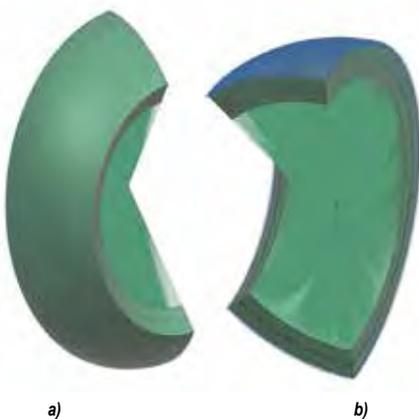
Thus, the simulation results confirm the conclusion made based on the data obtained using formula (1): the load capacity of two-layer spherical RMH must be evaluated for the layer with the highest relative deformation. Let us turn to the analysis of the possibilities of creating RMH with the same relative deformation of the layers.

Modelling RMH with Different Values of Bushing Opening Angles

To equalise the values of the relative deformation of rubber layers, it is proposed to change the ratio of these parameters of the rubber layers by changing the values of the opening angles of the outer and middle bushings.

The opening angle of the middle bushing is assumed to be half the sum of the corresponding angles of the outer and inner bushings (parameter p_{47} , Pic. 2).

The criterion of a uniformly deformed state will be approximation of the value of displacements of the nodes of the middle sleeve along the vertical axis of the hinge to the value of 0,5 mm. With equal thicknesses of rubber



Pic. 3. Finite element model of RMH elastic bushing adopted by the authors for modelling: a – finite element mesh, b – constraints of the calculation scheme.

Table 1

Movements of the middle bushing at different opening angles of outer bushing based on simulation results [obtained by the authors]

Opening angle of outer bushing	86°	82°	78°	74°	70°	66°	62°	58°	56°
Displacement of middle bushing	0,403	0,411	0,419	0,43	0,443	0,456	0,473	0,49	0,502

Table 2

The values of parameters of hinges with equal elasticity of rubber layers, according to the simulation results [obtained by the authors]

Radial stiffness, kN/mm	232,6	217	188,2	160,5	136,1	118,6	97,6
Opening angle of inner bushing, degrees	90	85	80	75	70	65	60
Opening angle of outer bushing, degrees	56	55	52	49	46	44	41

layers at such a displacement value, their equal relative deformations will be observed.

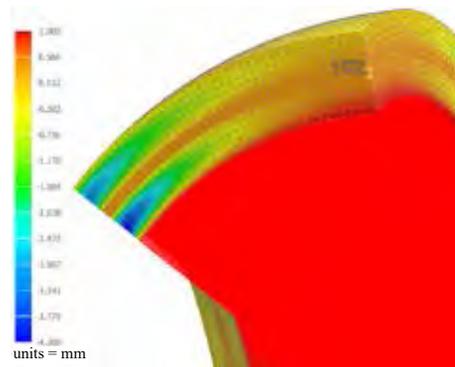
The results of variable calculations for various opening angles of the outer bushing are presented in Table 1.

The analysis allowed to obtain the shape of the elastic bushing, which ensures a uniformly deformed state (Pics. 5, 6).

Using the parametrised model described above, we obtained the values of the opening angles for RMH having different widths (Table 2), providing the condition of uniform elasticity.

As can be seen from Table 2, to achieve uniform elasticity, the opening angle of the outer reinforcement should be approximately 1,5 times less than the opening angle of the inner one. This allows to reduce the width of the outer reinforcement of RMH by more than 25 %, reduce the weight of the outer reinforcement, and also makes it easier to fill the space between bushings with rubber mass during the manufacture of the hinge.

The disadvantages of this RMH design include the fact that during preliminary deformation of rubber bushings during installation, as well as under the influence of radial loads, the pressure from the inside on the edges of the intermediate cage, created by the inner rubber bushing, will not be compensated by the pressure from the outside, because the edge of the intermediate cage is under the free surface of the outer rubber bushing. This means that it is necessary to study the stress state of the intermediate cage to determine its strength and rigidity, and, possibly, to increase the thickness of the cage edges. Another problem that requires further research is caused by the fact that in an equal-strength hinge, the rubber bushing has an acute angle at the point of junction of the inner surface with metal parts.



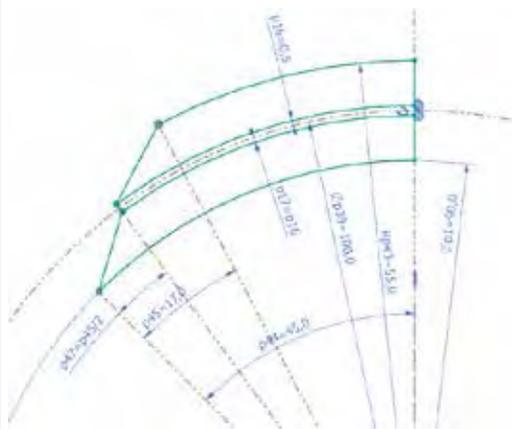
Pic. 4. Displacement of nodes of the middle bushing in the radial direction according to the results of simulation [obtained by the authors].

According to [2], if a part has a form factor of more than 1,5, then its strength needs to be determined by the strength of the rubber-metal connection. As indicated in [16], the strength of the bonding of rubber made of synthetic rubbers with metal using the Leikonat adhesive for rubber compounds can vary from 3 to 10 MPa. This means that with a given shape of the free surface of the rubber bushing, it is necessary to apply the most durable connection of rubber with metal parts. As already noted by the authors in [1], the characteristic defects of spherical RMH operating in the suspension units of traction electric motors of locomotives is delamination of rubber elements from metal parts [17–19]. The solution of the noted problems is the task of further research.

Modelling RMH with Different Thicknesses of Rubber Bushings

Using the same model, the authors searched for a uniformly deformed state of rubber with different thicknesses of rubber bushings for a spherical two-layer RMH with an opening angle of elastic bushings of 90°.





Pic. 5. Parameters of the shape of a hinge having uniformly elastic rubber layers, adopted by the authors for modelling.

Let's introduce the notation:

- h_o – initial thickness of the outer rubber layer.
- h_{in} – initial thickness of the inner rubber layer.
- δ_1 – movement of the lower node of the middle bushing with a single displacement of the inner ring.
- δ_{up} – movement of the upper node of the middle bushing with a single displacement of the inner ring.
- δh_o – absolute deformation of the outer layer.
- δh_{in} – absolute deformation of the inner layer.
- ϵ_o – absolute deformation of the outer rubber layer.
- ϵ_{in} – absolute deformation of the inner rubber layer.

Since the deformation of the inner layer is greater for equal thicknesses, it is proposed to find an equilibrium state increasing stepwise the thickness of the outer layer and decreasing the thickness of the lower layer, respectively. The criterion for such a state will be equality of relative deformations of elastic layers.



Pic. 6. The shape of the hinge with equal elasticity of rubber layers according to the simulation results [obtained by the authors].

For an elastic bushing with an opening angle of 90° and a layer thickness $h_o = h_{in} = 4,5$ mm, we have $\delta_1 = 0,397$ mm, $\delta_{up} = 0,398$ mm (Pic. 4). Since the nodes of the outer layer are rigidly fixed, $\delta h_o = \delta_1 = 0,397$ mm. The lower ring has a displacement of 1 mm, so $\delta h_{in} = 1 - \delta_{up} = 1 - 0,398 = 0,602$ mm.

$$\epsilon_o = 100 \cdot \delta h_o / h_o = 100 \cdot 0,397 / 4,5 = 8,8 \%, \epsilon_{in} = 100 \cdot \delta h_{in} / h_{in} = 100 \cdot 0,602 / 4,5 = 13,4 \%$$

By changing the values of the diameter of the axis of the middle bushing (parameter $\phi 39$, Pic. 5), we rebuild the model for further analysis.

The obtained values are given in Table 3 [performed by the authors]

As follows from Table 3, for the considered hinge with the parameters of the elastic bushings shown in Pic. 5, equal relative deformation of the bushings is ensured when the diameter of the centre line of the middle bushing is 99,1 mm, which is 0,9 mm less than the original size, while the permissible deviation in rigidity of the bushings $\pm 5\%$ corresponds to the deviation of the average diameter of the intermediate cage $\pm 0,1$ mm, which is less than $\pm 0,1\%$ of the diameter. These accuracy requirements must be taken into account when designing the intermediate cage and moulds.

On the other hand, in the variant with different thicknesses of the rubber bushings, the angles between free surfaces of the rubber bushings and the metal parts to which they are vulcanised in the assembled hinge will be close to 90° , and thus the edges of the rubber bushings will be pressed against the metal parts due to the force created as a result of preliminary compression deformation during the assembly of RMH. This facilitates the technological task of ensuring reliability of the connection between rubber bushings and metal during vulcanisation. As a result, from the point of view of the theory of rational choice of decisions in design [20], the choice of the option to achieve equal strength of the hinge must be made based on the specifics of the specific technological base for production of tooling and rubber products.

Thus, from the simulation results obtained, it follows that it is practically possible to obtain a two-layer spherical RMH with equal relative deformations of the rubber of the outer and inner bushings both by reducing the opening angle of the outer bushing of the hinge, and by choosing the ratio of the thickness of the rubber layers of the outer and inner bushings. At the same time, in the first case, the problem arises of strength

Table 3

Parameter value	Middle bushing axle diameter, mm						
	100	99,8	99,6	99,4	99,2	99,1	99
h_o , mm	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	4,95	5
h_m , mm	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,05	4
δl , mm	0,397	0,432	0,467	0,5	0,533	0,55	0,566
δ_{up} , mm	0,398	0,433	0,468	0,501	0,534	0,551	0,567
δh_o , mm	0,397	0,432	0,467	0,5	0,533	0,55	0,566
δh_m , mm	0,602	0,567	0,532	0,499	0,466	0,449	0,433
ε_o , %	8,8	9,4	9,9	10,4	10,9	11,1	11,3
ε_m , %	13,4	12,9	12,4	11,9	11,4	11,1	10,8

and rigidity of the intermediate cage and the strength of the rubber-metal bond; in the second case, the problem arises of the accuracy of tooling manufacturing, in particular, of the choice of acceptable gaps for fixing metal bushings in the mould.

Since the fundamental possibility of creating a two-layer spherical RMH with equally loaded bushings might be considered proven, as one of the further areas of work on the study of such RMH, the authors propose to search for a RMH design that would provide a rational compromise between the requirements for the strength of RMH elements and the accuracy of manufacturing tooling.

CONCLUSIONS

1. It has been established that for spherical two-layer RMH with equal thickness of layers of rubber bushings and equal angle of their opening, there is a significant difference in their radial stiffness and relative deformation of rubber. With hinge dimensions corresponding to those of the hinge used in the undercarriage of locomotives, there is a difference in the relative deformation of the inner and outer bushings by about 1,5 times. As a result, the load capacity of spherical two-layer RMH must be determined by the value of the relative deformation of the rubber of the most loaded bushing. It is necessary to search for a uniformly deformable design of a spherical two-layer RMH.

2. In the process of analysing the existing structures of RMH, two possible ways to create a uniformly deformable spherical RMH were identified, implemented within the framework of the existing technology for manufacturing RMH by pressing and casting: by changing the opening

angle of the outer and intermediate reinforcement and by changing the ratio of the thicknesses of the outer and inner rubber bushings.

3. In the process of research, a parametrised geometric model of a spherical two-layer RMH and a finite element model of an elastic bushing have been proposed. As a result of modelling the original version of the hinge with the same thicknesses and opening angles of elastic bushings, the ratio of radial stiffnesses of the outer and inner bushings was obtained; it is close to the previously determined one based on the equations of the theory of elasticity in displacements in a spherical coordinate system.

4. It has been established that to achieve uniform elasticity by changing the opening angle, the opening angle of the outer reinforcement of RMH should be approximately 1,5 times less than the opening angle of the inner one. This makes it possible to reduce the width of the outer reinforcement of RMH by 25 %, however, this raises the problem of strength and rigidity of the outer edges of the intermediate reinforcement.

5. It has been established that equal elasticity of the hinge bushings can be achieved due to their different thickness, while to achieve the non-uniform rigidity of the bushings within ± 5 %, it is required to ensure the deviation of the intermediate cage diameter by less than $\pm 0,1$ % during manufacturing of the hinge.

6. The obtained research results prove the practical possibility of creating an equally strong (with equal bushing rigidity) spherical two-layer RMH. The issue of searching for a compromise design of RMH, acceptable from the point of view of the loading of the intermediate holder and the requirements for manufacturing accuracy, requires further study.



REFERENCES

1. Kosmodamianskiy, A. S., Vorobiev, V. I., Izmerov, O. V., Shevchenko, D. N., Rasin, D. Yu. Two-layer spherical rubber-metal joints and problems of their calculation features. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT)*, 2022, Vol. 81, Iss. 2, pp. 114–124. DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-2-114-124.
2. Poturaev, V. N. Rubber and rubber-metal machine parts [*Rezinovie i rezinometallicheskie detal'i mashin*]. Moscow, Mashinostroenie, 1966, 299 p. [Electronic resource]: <https://booktech.ru/books/detal-i-mashin/1108-rezinovye-i-rezino-metallicheskie-detal-i-mashin-1966-vn-poturaev.html>. Last accessed 24.10.2022.
3. Research on creation of a traction motor suspension with spherical rubber-metal hinges for diesel locomotives with a support-axial drive. Final report/Report VNITI I-17–85. Kolomna, 1985, 55 p.
4. The results of bench tests of the suspension gear of the traction drive of the diesel locomotive 2TE121. Final report/Report VNITI I-101–87. Kolomna, 1987, 68 p.
5. Development of a method for calculating rubber shock absorbers for diesel locomotives. Final report/Report VNITI I-100–85. Kolomna, 1985, 96 p.
6. Bourgeot, J. Resilient swivel joint for railway car suspensions, United States Patent 5031545, 1991. [Electronic resource]: <https://www.freepatentsonline.com/5031545.html>. Last accessed 24.10.2022.
7. Method for assembling a spherical rubber-metal hinge. USSR Patent No. 14903807. V. S. Kossov, A. I. Kokorev, V. A. Lysak, V. A. Puzanov, V. S. Avramenko, O. V. Izmerov. Publ. 15.07.89, bul. No. 26. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/SU1493807A1_19890715. Last accessed 24.10.2022.
8. Frolov, N. N., Moldavanov, S. Yu., Lozovoy, S. B. Mechanics of thin-layer rubber-metal elements: Monograph [*Mekhanika tonkosloynnykh rezinometallicheskiykh elementov: Monografiya*]. Krasnodar, Publishing House – Yug, 2011, 218 p. ISBN 978-5-91718-112-7.
9. Tikhonov, V. A. Calculation of vibration stiffness of a spherical rubber-metal bearing [*Raschet vibratsionnoi zhestkosti sfericheskogo rezinometallicheskogo podshipnika. Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2004, Iss. 6, pp. 9–14. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17643070>. Last accessed 24.10.2022.
10. Guimbal, B. Rotary-wing aircraft rotor head having resilient-return interblade ties with built-in damping. US Patent No. 4915585, 1990. [Electronic resource]: <https://patents.google.com/patent/US4915585A/en>. Last accessed 24.10.2022.
11. Dudnik, V. V. Helicopter design [*Konstruktsiya vertoletov*]. Rostov-on-Don, Publishing house IUIAP, 2005, 158 p. ISBN 5-94596-015-2.
12. Mormul, R. V., Eremenko, P. P., Shaidurov, A. A. Mathematical simulations and experiments on the characterization of stress-strain state of elastic support element under non-stationary thermal mechanical loading. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*, 2019, Vol. 21, Iss. 4, pp. 502–513. DOI: 10.15350/17270529.2019.4.53. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41522630>. Last accessed 24.10.2022.
13. Gubanov, V. V., Maslennikov, V. G. Determination of durability of a prismatic rubber-metal compression damper based on the entropy criterion [*Opredelenie dolgovechnosti prizmaticheskogo rezinometallicheskogo amortizatora szhatiya na osnove entropiynogo kriteriya*]. In: *Issues of dynamics and strength*. Riga, Zinatne, 1977, Iss. 34, pp. 139–141.
14. Gubanov, V. V. Prediction of the service life of rubber products operating under cyclic deformations [*Prognozirovaniye sroka sluzhby rezinotekhnicheskikh izdelii, rabotayushchikh pri tsiklicheskikh deformatsiyakh*]. In: *Issues of dynamics and strength*. Riga, Zinatne, 1982, Iss. 40, pp. 21–33.
15. Balakin, P. D., Krasotina, L. V., Krivtsov, A. V. Simulation of rubber isolator operation. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2016, Iss. 3 (147), pp. 5–9. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25998024>. Last accessed 24.10.2022.
16. Penkin, N. S., Kopchenkov, V. G., Serbin, V. M., Penkin, A. N. Rubberized machine parts [*Gummirovannye detal'i mashin*]. Ed. by D.Sc. (Eng), Prof. N. S. Penkin, 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Mashinostroenie publ., 2013, 245 p. ISBN 978-5-94275-701-4.
17. Sokolov, Yu. N., Ponomarev, A. S., Degtyarev, V. E. Improving reliability of traction drive units for passenger electric locomotives EP1M and EP10 [*Povysheniye nadezhnosti uzlov tyagovogo privoda passazhirskikh elektrovozov EP1M i EP10*]. *Lokomotiv-inform*, 2010, Iss. 6, pp. 4–11.
18. Akhmadeev, S. B., Kornev, A. M. Analysis of damage to the mechanical part of new generation electric locomotives in operation (using the example of 2ES6) [*Analiz povrezhdenii mekhanicheskoi chasti elektrovozov novogo pokoleniya v ekpluatatsii (na primere 2ES6)*]. *Tekhnologicheskoe obespecheniye remonta i povysheniye dinamicheskikh kachestv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava*, 2015, Part 1, pp. 203–208.
19. Alekseeva, M. S. Analysis of operation of diesel locomotives 2TE25A «Vityaz» on Far Eastern Railway [*Analiz raboty teplovozov 2TE25A «Vityaz» na Dalnevostochnoi zheleznoi doroge*]. Technical science – from theory to practice: Collection of articles based on proceedings of LVIII international scientific-practical conference No. 5 (53). Part II. Novosibirsk, SibAK publ., 2016, pp. 61–66. [Electronic resource]: <https://web.archive.org/web/20170826160642/https://sibac.info/conf/tech/lviii/55794>. Last accessed 24.10.2022.
20. Izmerov, O. V. [et al]. Technical innovation. Rational choice of technical solutions in design: Monograph [*Tekhnicheskaya innovatsionika. Ratsionalniy vybor tekhnicheskikh reshenii pri proektirovaniy. Monografiya*]. Ed. by O. V. Izmerov. Oryol, Gosuniversitet-UNPK, 2013, 340 p. ISBN 978-5-93932-610-0. ●

Information about the authors:

Kosmodamianskiy, Andrey S., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Transport Academy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, askosm@mail.ru.

Vorobiev, Vladimir I., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Railway Rolling Stock of Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, vladimvorobiev@yandex.ru.

Izmerov, Oleg V., External Ph.D. student at the Department of Railway Rolling Stock of Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, izmerov@yandex.ru.

Rasin, Dmitry Yu., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Railway Rolling Stock of Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia, dmrr1@rambler.ru.

Shevchenko, Dmitry N., Senior Lecturer at the Department of Traction Rolling Stock of Russian Open Transport Academy of Russian University of Transport, Moscow, Russia, shevchenkodn@ya.ru.

Article received 10.10.2022, approved 26.12.2022, accepted 16.01.2023.

T



TRANSPORT POLICY 172

Decision-making based on multicriteria approach: concept, search for optimal criteria and application for existing projects.

INTERNATIONAL COOPERATION 180

Russian-Chinese interaction in the sphere of rail transport.



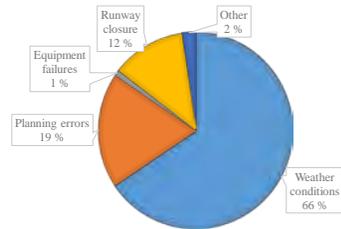
SUSTAINABLE DEVELOPMENT 188

International standards, state regulation, suggestions to optimise assessment.

ORGANISATION MANAGEMENT 194

Structure of methods within the value chain. Universality and uniqueness of methodology referring transport companies.

MANAGEMENT, CONTROL AND ECONOMICS



AIRLINE COMPANIES AND AIRPORTS 205

Simulation model. How to counter disruptions in operations?

RAIL PASSENGER TRANSPORTATION 213, 224

Theory and practices of application of gravity model. Forecast model and its consistency.



Life cycle contract: legal and technological implementation aspects.

OVERSIZED CARGO 228

Algorithm of preparing the transportation as a warranty of safe and timely delivery.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>

Decision-Making Methods in Transport Policy: a Multi-Criteria Approach

**Artur V. Karlov***Russian University of Transport, Moscow, Russia.*✉ info@rut-miit.ru

RSCI Id: 1409-3481, ORCID: 0000-0001-7147-8501.

Artur V. KARLOV

ABSTRACT

Transport policy includes various aspects of government regulation of transport and related industries. Decision-making in transport policy must consider a wide range of factors and evaluate options for the consequences of adoption of certain decisions based on various criteria, such as cost, environmental impact, and social effects. Two widely used decision-making tools in transport policy are multi-criteria decision analysis (MCDA) and cost-benefit analysis (CBA).

The objective of the study was to select decision support methods for transport policy that consider aspects other than monetary or hardly formalised ones.

As a practical experiment, the study selected and ranked projects currently considered promising, per as they correspond to a given target using T. Saaty's analytic hierarchy process. Several criteria developed within the framework of the study are proposed for the purpose of applied assessment of the pool of projects and their prioritisation.

Application of such criteria and AHP allowed to develop a new applied tool for evaluating projects for subsequent use in the system of state administration of the transport industry. The study concludes that although CBA and MCDA methods have their strengths and weaknesses, the choice of method should depend on the specific context of the project.

Keywords: transport policy, transport economics, decision-making methods, multi-criteria decision analysis (MCDA), cost-benefit analysis (CBA), project selection.

For citation: Karlov, A. V. Decision-Making Methods in Transport Policy: a Multi-Criteria Approach. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 172–179. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

The main objective of transport policy is to ensure safety, efficiency, accessibility, and sustainability of transport systems, as well as to promote economic growth, environmental protection, and social justice.

Decision-making in transport policy involves weighing the benefits of a project against the associated costs, risks and environmental impacts. There are various decision-making tools to help policy makers make informed decisions: the key ones comprise cost-benefit analysis (CBA) and multi-criteria analysis (MCDA).

There are various systems for evaluating transport infrastructure projects, however, in most world countries, traditional cost-benefit analysis (CBA) is carried out to one degree or another [1–3].

This is the most common methodology used to date to assess transport systems. The CBA methodology is applied based on specific models and provides decision-makers with a monetary estimate of project feasibility. Socio-economic analysis in this regard is further development of the traditional CBA, which is the monetary expression of social effects («benefits») by transforming social goals into financial indicators of benefits [4].

In recent years, scientific literature and government regulations in Western countries have increasingly concluded that, in addition to the social costs and benefits associated with transport, other impacts that are more difficult to express in terms of monetary effects should also influence the decision-making process. It is widely recognised that decisions regarding infrastructure projects are often influenced by other types of impacts besides monetary ones [5; 6]. However, as a rule, strategic guidelines are not formalised within the evaluation process; various documents only propose to describe individual priorities and take them into account in the decision-making process.

This strategy can be implemented in public transport planning institutions in various forms. Accordingly, project evaluation methodologies in various countries are evolving to better match this trend [7].

Essentially, the CBA provides decision-makers with a monetary estimate of the profitability of project alternatives. However, decision-makers often face difficulties in finding the right balance between the scores obtained as a result of the CBA and the scores

obtained as a result of analysing the opinions of various stakeholders in the decision-making process [8].

The *objective* of the study presented within the framework of this work was to analyse the possibility of evaluating development projects in the transport industry through decision-making systems alternative to the CBA.

As a research *method*, practical-experimental selection of projects currently considered as promising ones was followed by their subsequent ranking per their compliance with their respective targets using T. Saaty's analytic hierarchy process.

PROBLEM STATEMENT

There are several alternative methods that can be used to estimate benefits and costs of different transport alternatives. Most refer to cost-benefit analysis (CBA) methods, which is an *economic* evaluation method that compares the costs of a project with its benefits. On the other hand, multi-criteria decision analysis (MCDA) is also used. This is a method that considers many criteria when making decisions [9]. It involves evaluating and comparing alternatives based on a set of predetermined criteria.

Alternative methods of evaluating projects through the prism of strategic goals are often based on multi-criteria decision analysis (MCDA), which in most cases can be combined with CBA. Many researchers in several countries and in Russia have already studied this issue [10–12]. Summarising their works, it can be concluded that MCDA improves quality of decisions and enhances involvement of those who make them into the analysis of the situation.

In this case, both methods either mixed methods can be used within the comparison, for example [13; 14]:

1. *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*: LCCA is a method for evaluating the total costs and benefits of a transport project throughout its life cycle, from construction to decommissioning. LCCA can provide a more complete picture of project's costs and benefits than a CBA, which typically only considers costs and benefits over a relatively short period of time.

2. *Cost Efficiency Analysis (CEA)*: CEA is a method of evaluating costs and benefits of various alternatives based on the results achieved rather than on the monetary value of those results. CEA can be especially useful for evaluating transport projects that have significant non-



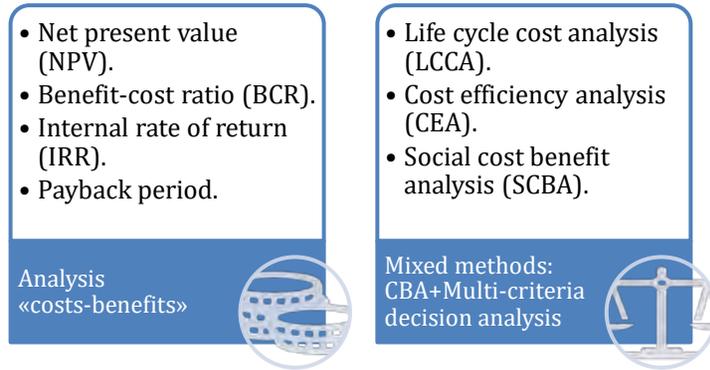


Fig. 1. Main methods of CBA and MCDA [developed by the author].

monetary benefits, such as improved air quality or reduced traffic congestion.

3. *Social Cost Benefit Analysis (SCBA)*: SCBA is a method for assessing social costs and benefits of transport projects. It can include analysis of both monetary and non-monetary impacts, such as impacts on community health and well-being, as well as on local businesses.

At the same time, several methodologies are used within the framework of MCDA [15; 16]:

1. Analytical Hierarchy Process (AHP).
2. Method of ordering preferences by similarity to the ideal solution (TOPSIS).
3. Élimination Et Choix Traduisant la Réalité (Elimination and Choice Expressing Reality, ELECTRE).
4. Simple additive weighting (SAW).

A brief description of the main methods of MCDA can be presented as follows.

1. *Analytical Hierarchy Process (AHP)*: AHP is a structured multi-criteria decision-making method that involves breaking down a complex decision into smaller parts, creating a hierarchy of decision criteria and alternatives, and then evaluating the relative importance of each criterion and the effectiveness of each alternative with respect to each criterion. AHP uses pairwise comparisons and mathematical algorithms to calculate the final score for each alternative.

2. *Method of ordering preferences by similarity to the ideal solution (TOPSIS)*: TOPSIS is a multi-criteria decision-making method that involves creating a matrix of alternatives and criteria, and then determining the similarity of each alternative to the ideal solution and the distance of each alternative to the worst solution. TOPSIS uses a mathematical formula to calculate a final score for each

alternative option based on its relative similarity to the ideal solution.

3. *Elimination and choice expressing reality (ELECTRE)*: ELECTRE is a multi-criteria decision-making method that involves creating a set of criteria and then comparing each alternative against each criterion. ELECTRE uses mathematical algorithms to rank alternatives based on how well they meet criteria. ELECTRE also allows decision-makers to set thresholds for each criterion, so alternatives that fall below the threshold are excluded from consideration.

4. *Simple additive weighting (SAW)*: SAW is a multi-criteria decision-making method that involves assigning weights to each criterion and then evaluating each alternative against each criterion. SAW calculates a final score for each alternative by multiplying each criterion's score by its weight and summing the results. SAW is easy to use and understand but it can be sensitive to changes in criteria weights.

Each of these alternative methods has its own strengths and weaknesses, and the most appropriate method will depend on the specific decision-making problem, available data and information, as well as on transport policy goals and objectives. By using a combination of methods, a complete and more reliable estimate of costs and benefits of various transport alternatives can be obtained.

It is important to note that MCDA methods are often more complex and allow for a more holistic evaluation of projects, while cost-benefit methods are more focused on financial feasibility.

Unfortunately, the results of the analysis when applying MCDA are largely dependent on the opinion of experts and therefore seem less objective than in case of the cost-benefit analysis

(CBA) either of cost efficiency analysis. The algorithm of MCDA method is as follows:

1) Scenarios for achieving the goals of regulatory impact are developed.

2) Criteria for achieving the goals and objectives of regulation are selected (a prerequisite is that the criteria must be measurable).

3) Depending on the importance of the goals of regulation, each criterion is assigned a certain weight (usually from 0 to 1).

4) For each scenario, an assessment is carried out for each of the criteria on a certain scorecard (usually from 0 to 100 points).

5) Scores for each scenario are summed up, considering weights of criteria.

6) An optimal scenario is selected.

At all stages of MCDA, especially at the third and fourth, an expert group is actively involved in the analysis, the members of which have sufficient qualifications and experience in the field of regulation. Despite some subjectivity of the results of MCDA, this method can be successfully applied with a limited number of monetised consequences of the regulatory impact.

Despite the fact that the practices of using MCDA for project evaluation are widespread globally, today, this process is not an integral part of the infrastructure project evaluation scheme. In countries with developed CBA evaluation institutions (e.g., Sweden and Denmark [17]), the methodology is only being explored as a probable decision-making support tool due to its reliance on subjective qualitative input [18].

RESULTS

Decision-Making Model Based on MCDA.

Theoretical Part

To determine the priorities of state policy, expressed in implementation of practical measures, it is possible to apply the adapted method of analytical hierarchy process (hereinafter – AHP), which was proposed in the late 1970s by American mathematician Thomas L. Saaty [19].

The method consists in decomposing the problem into simpler component parts and step by step prioritisation using pairwise comparisons.

The application of this method for formation of rational decisions in the field of transport policy is determined by *unformalised principles of state priorities* in the field of transport development projects, technological platforms and other large-

scale elements used in implementation of transport policy, for example, the principles of geopolitics, technological sovereignty, etc.

The difficulties in formation of transport policy are associated not only with the magnitude of decisions, but also with diversity of the consequences of their implementation and, as a result, with several criteria, not all of which may have quantitative values.

A number of principles for development of projects have been declared within the framework of the Transport Strategy of the Russian Federation¹ regarding thus the implementation of the country's transport policy. They can be conditionally grouped as follows:

1) Development of infrastructure for cargo traffic.

2) Increasing the population mobility.

3) Ensuring technological sovereignty.

4) Compliance with the principles of ESG (environmental principle).

5) Increasing the accessibility of remote areas.

These principles and their applicability differ significantly depending on the cases of specific projects, so traditional decision support methods, as in case of individual investment projects [20], cannot be applied. In the framework of this study, for the purpose of applied assessment of the pool of projects and their prioritisation based on the adapted methodology of T. Saaty, we will supplement the existing set of criteria form our own one (Table 1).

In the AHP method by T. Saaty, elements of the same levels must be comparable with each other in terms of the possibility of setting priorities. The criteria for all levels of the hierarchy in the analytical hierarchy process must have a common direction, either positive or negative.

Depending on the global goal, the significance of the vectors will change.

For example, if the priority is development of transportation with friendly countries, then the focus of development will shift in favour of criterion 4 (geopolitical effects). With priority in the social aspect the focus will shift in favour of criterion 5 (population mobility).

¹ Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, No. 3363-r. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOpQhL10nU T91RjCbeR.pdf>. Last accessed 05.12.2022.



Prioritisation criteria for evaluating a project pool [developed by the author]

No.	Criterion	Description
1.	Resource intensity	The need for financial, personnel, land and other resources, incl. from related industries
2.	Monetary cost-benefit ratio	The result of assessment according to the cost-benefit analysis method (<i>for the purposes of this study, the assumption of a ready-made assessment was taken</i>)
3.	Contribution to technological sovereignty	Factors that contribute the most in terms of the development potential of the national own industrial base and intellectual developments
4.	Geopolitical effects	Factors that ensure that both positive and negative foreign policy impacts on the direction of cargo flows and the distribution of demand for transport services are considered, and, if necessary, the levelling of negative consequences (for example, of sanctions)
5.	Impact on population mobility	Factors affecting transport mobility of the population, its ability to travel
6.	Environmental impact	Impact on the environment, considering the geography of the project

Thus, to determine specific steps (alternatives), it is necessary to propose a methodology for selecting projects at the decision-making stage (without assessing socio-economic effects) in the context of choosing a global goal and priorities (vectors) for its implementation.

For the purposes of the study, we will propose a goal «Development of the transport system in the interests of an independent economy and citizens of the country» and try to determine the distribution of alternatives in favour of which the choice is shifted with such a goal setting.

Decision-Making Model Based on MCDA. Practical Part

As alternatives for consideration as an example of the application of this approach, we can take 4 real promising mega-projects (Pic. 2)²:

1. Dzhubga–Sochi highway is a complex project for construction of the «Southern Cluster» with a length of 152,5 km, including bypasses of Sochi, Adler microdistrict, the city of Tuapse, the township of Lazarevskoye. It also provides for construction of a completely new route from the town of Goryachiy Klyuch to the village of Agoy. The cost is estimated at over 2,4 trillion rubles³.

² Estimation of the cost of project implementation has been carried out based on the analysis of open accessed media news, is indicative and used exclusively for illustration of fundamental possibility to build a model. Below are individual references to sources.

³ Ryzhkova, E. Dead end path to the sea. The cost of Dzhubga–Sochi highway was estimated at 2,4 trillion rubles [Tupikoviy put k moryu. Stoimost trassy Dzhubga–Sochi otsenili v 2,4 trln rublei]. *Kommersant (Krasnodar)*, No. 189, 15.10.2020. [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/doc/4531055>. Last accessed 10.02.2023.

2. The project of a railway connection from Derbent (Samur) to the port of Bandar Abbas through the territory of Azerbaijan and Iran. The project supposes joint construction or reconstruction of a broad-gauge railway with a length of over 1,5 thousand km. The cost of its implementation on Iranian territory only, according to some expert estimates might be evaluated at 2 trillion rubles⁴.

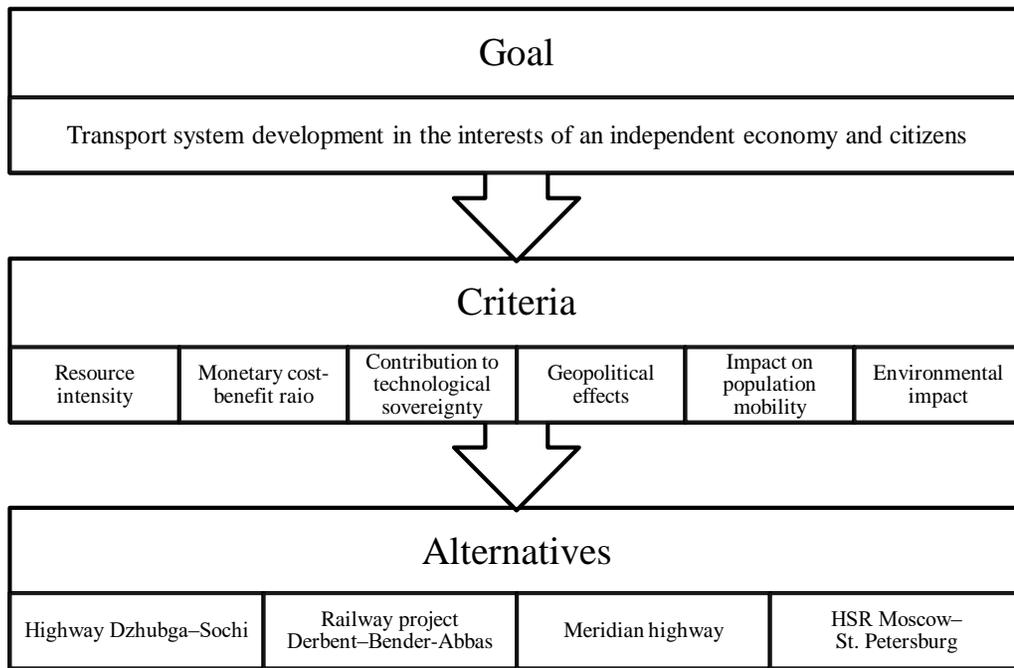
3. The Meridian highway is a project for construction of a highway from the border with Kazakhstan to the border with Belarus to organise a new transit route from Asia to Europe. The cost exceeds 0,6 trillion rubles⁵.

4. Project for construction of HSR Moscow–St. Petersburg. The cost of the project is over 2 trillion rubles⁶.

⁴ See, e.g., Iran accelerates the construction of North–South transport corridor [Iran uskoriaet stroitelstvo transportnogo koridora Sever–Yug]. *Zheleznye dorogi mira*, 26.04.2022. [Electronic resource]: <https://zdmira.com/news/iran-uskoriaet-stroitelstvo-transportnogo-koridora-sever-yug>; Gaiva, E. What will be the cost of North–South logistics corridor [Vo chto oboidetsia logisticheskiy koridor «North–South»]. *Rossiyskaya gazeta*, 22.11.2022. [Electronic resource]: <https://rg.ru/2022/11/22/persidskie-motivy.html>. Last accessed 10.02.2023.

⁵ Fedorova, N., Korenyako, A., Demchenko, N. Meridian highway for P600 billion from China to Europe will be redirected to the Caspian Sea [Trassu Meridian za P600 mlrd iz Kitaya v Evropu perenapravyat k Kaspiyu]. *RBC*, 16.06.2022. [Electronic resource]: <https://www.rbc.ru/business/16/06/2022/62ab0a869a7947294b7ca718>. Last accessed 10.02.2023.

⁶ Boiko, A., Volobuev, A., Grinkevich, D. The authorities will refuse to finance HSR Moscow–St. Petersburg from FNB. The project is again shelved [Vlasti otkazhutsya ot finansirovaniya VSM Moskva–Sankt-Peterburg iz FNB. Proekt vnov otkladyvaetsya v dolgiy yashchik]. *Vedomosti*, 24.03.2022. [Electronic resource]: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/03/24/915136-vlasti-finansirovaniya-vsm-moskva>. Last accessed 10.02.2023.



Pic. 2. The logics of the decision-making model using specific examples [developed by the author].

To set the priorities of the criteria, to obtain estimates for alternative solutions, matrices of pairwise comparisons $A = || a_{ij} ||$ are built. The element a_{ij} of the matrix of paired comparisons is the result of measuring the degree of preference of the alternative A_i in relation to the alternative A_j on the fundamental scale.

The criteria scale is a numerical series from 1 to 9 with three main points:

- 1 – equivalence (equal value)...;
- 5 – strong superiority...;
- 9 – the great superiority.

Intermediate points 2–4, 6–8 are used for refinement within the scale.

With the help of a matrix of pairwise comparisons, the expert method helped to determine the weights of the criteria based on available data on the projects under consideration, including their cost (Table 2).

The method of expert evaluation within the framework of a given goal has shown that the criterion of geopolitics has been a key one.

Considering the given weights, based on the results of assessment, a whole range of alternatives was formed (Table 3).

According to the criterion «Resource intensity», the best project is Meridian highway due to the low cost of implementation compared to other projects.

According to the criterion «Monetary cost-benefit ratio», the best project is HSR Moscow–St. Petersburg since it implies a high level of socioeconomic benefits due to agglomeration effects [21].

According to the criterion «Contribution to technological sovereignty», the best project is HSR Moscow–St. Petersburg since it involves construction of high-speed rolling stock and production localisation in the Russian Federation.

According to the criterion «Geopolitical effects», the best project is Derbent–Bender-Abbas railway since it ensures opening of a new railway corridor to the Persian Gulf, ensuring seamless transportation of Russian goods and the

Table 2
Result of pairwise comparisons and criteria weighting [developed by the author]

Criterion	Priority
Resource intensity	0,0401
Monetary cost-benefit ratio	0,1520
Contribution to technological sovereignty	0,2497
Geopolitical effects	0,4186
Impact on population mobility	0,0841
Environmental impact	0,0554



**The result of pairwise comparisons and weighting of projects
[developed by the author]**

Priority	Resource intensity	Monetary cost-benefit ratio	Contribution to technological sovereignty	Geopolitical effects	Impact on population mobility	Environmental impact
Highway Dzhubga–Sochi	0,0578	0,2779	0,1275	0,0570	0,2304	0,0474
Railway project Derbent–Bender-Abbas	0,1359	0,0861	0,0997	0,7339	0,0308	0,2335
Meridian highway	0,6850	0,1099	0,0684	0,1571	0,1358	0,1043
HSR Moscow–St. Petersburg	0,1213	0,5261	0,7044	0,0521	0,6030	0,6147

**Table 4
The result of pairwise comparisons and weighting of projects with AHP
[developed by the author]**

Alternative	Priority
Highway Dzhubga–Sochi	0,1223
Railway project Derbent–Bender-Abbas	0,3662
Meridian highway	0,1443
HSR Moscow–St. Petersburg	0,3673

the railway project to the Persian Gulf – in terms of ensuring geopolitical long-term tasks.

By clarifying the goal – for example, by shifting the weight of the criteria towards a purely geopolitical component, the project of the railway to Bender Abbas would become the winner of the selection according to the presented model. And vice versa, if the weight of «social» indicators increases with a shift in priorities in favour of improving the quality of passenger services in the country, the superiority of high-speed rail would be significant.

import of necessary goods into the Russian Federation.

According to the criterion «Impact on population mobility», the best project is HSR Moscow–St. Petersburg since it significantly affects the mobility of two largest agglomerations of the country with a total population of over 23 million people.

According to the criterion «Environmental impact», the best project is HSR Moscow–St. Petersburg since it allows more people to switch to a more environmentally friendly railway compared to road and air transport.

The results of matrices' pairwise comparisons are presented in Table 4.

HSR Moscow–St. Petersburg became the best alternative within the framework of the declared goal, while the gap with the project for construction of a railway to the Persian Gulf is minimal.

Both projects in the best way correspond to the dual goal «*Development of the transport system in the interests of an independent economy and citizens of the country*»: the HSR project – in terms of ensuring technological sovereignty, ecology and increasing the mobility of citizens,

CONCLUSIONS

Within the framework of the study, various decision support methods were considered within the framework of CBA and MCDA systems. The possibility of using AHP on a specific example was analysed.

Through the formalisation of selection criteria within the declared goal, it was possible to prove applicability of the adapted method of analytical hierarchy process for the purposes of determining transport policy priorities.

Summing up the comparison of project evaluation methods, it should be noted that CBA provides for strict evaluation procedures, while MCDA methods are based on peer review and less formalised criteria, which gives analysts a relatively greater degree of freedom in the evaluation when using MCDA.

At the same time, it seems that, as indicated in the initial hypothesis of the study, the choice of specific project evaluation tools should be based on the specifics of a particular project, as well as of its alternatives. Obviously, the attention should also be paid to the factors of availability of objective tools of project analysis, including

such instrument as the transport and economic balance [22].

The combination of various project evaluation methods along with a clear goal-setting and formation of administrative procedures for ranking promising transport infrastructure development projects, are key factors for improving quality of transport policy implementation.

REFERENCES

1. Browne, D., Ryan, L. Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. *Environmental Impact Assessment Review*, 2011, Vol. 31 (3), pp. 226–233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.11.001>.
2. Ledney, A. Yu. The methods of economic efficiency evaluation of transport infrastructure projects. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 9, pp. 14–24. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39554648>. Last accessed 10.02.2023.
3. Medvedev, P. V. The assessment of the public effectiveness of transport infrastructure projects on the basis of «cost-benefit» analysis. *Vestnik universiteta*, 2015, Iss. 10, pp. 125–131. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24895593>. Last accessed 10.02.2023.
4. Vickerman, R. Beyond cost-benefit analysis: the search for a comprehensive evaluation of transport investment. *Research in Transportation Economics*, 2017, Vol. 63, pp. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2017.04.003>.
5. Mackie, P., Worsley, T., Eliasson, J. Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics*, 2014, Vol. 47 (1), pp. 3–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.013>.
6. Barfod, M. B., Salling, K. B. A new composite decision support framework for strategic and sustainable transport appraisals. *Transportation Research. Part A: Policy & Practice*, 2015, Vol. 72, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tr.2014.12.001>.
7. Barfod, M. B. Supporting sustainable transport appraisals using stakeholder involvement and MCDA. *Transport*, 2018, Vol. 33 (4), pp. 1052–1066. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6596>.
8. Beukers, E., Bertolini, L., Te Brömmelstroet, M. Why Cost Benefit Analysis is perceived as a problematic tool for assessment of transport plans: a process perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2021, Vol. 46 (1), pp. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tr.2011.09.004>.
9. Macharis, C., Bernardini, A. Reviewing the use of multi-criteria analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 2015, Vol. 37, pp. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>.
10. Nalmpantis, D., Roukouni, A., Genitsaris, E. [et al]. Evaluation of innovative ideas for Public Transport proposed by citizens using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *European Transport Research Review*, 2019, Vol. 11, 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0356-6>.
11. Gulakova, O. I. Theoretical and methodological basis of measuring of the public effect of infrastructure projects.

Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsialno-ekonomicheskie nauki, 2012, Vol. 12, Iss. 4, pp. 146–157. [Electronic resource]: https://woeam.elpub.ru/jour/article/view/531?locale=en_US. Last accessed 10.02.2023.

12. Mardani, A., Jusoh, A., Md. Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., Valipour, A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications. – A review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research – Ekonomika Istrazivanja*, 2015, Vol. 28 (1), pp. 516–571. DOI: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>.

13. Rosik, P., Wójcik, J. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. *Sustainability*, 2023, Vol. 15 (1), p. 548. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010548>.

14. Glushchenko, K. P. Assessment of social efficiency of investment projects. *Vestnik NGUEU*, 2019, Vol. 3, pp. 10–27. DOI: <https://doi.org/10.34020/2073-6495-2019-3-010-027>.

15. Brucker, K. De, Macharis, C., Verbeke, A. Multi-criteria analysis in transport project evaluation: an institutional approach. *European Transport – Trasporti Europei*, 2011, Vol. 47, pp. 3–24. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Cathy-Macharis/publication/227580366_Multi-criteria_analysis_in_transport_project_evaluation_An_institutional_approach/links/0912f5135fd730664000000/Multi-criteria-analysis-in-transport-project-evaluation-An-institutional-approach.pdf. Last accessed 10.02.2023.

16. Multi-criteria decision analysis for use in transport decision making. 2nd ed. Eds.: Barfod, M. B., Leleur, S. Compendium/lecture notes, DTU Transport, 2014. [Electronic resource]: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/multi-criteria-decision-analysis-for-use-in-transport-decision-ma>. Last accessed 10.02.2023.

17. Salling, K. B., Barfod, M. B., Ridley Pryn, M., Leleur, S. Flexible decision support for sustainable development: the SUSTAIN framework model. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2018, Vol. 18 (3). DOI: <https://doi.org/10.18757/ejtiir.2018.18.3.3242>.

18. Turskis, Z., Zavadskas, E. K. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 2011, Vol. 2, pp. 397–427. DOI: <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>.

19. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980, 287 p. Internet Archive: [analytichierarch0000saat](https://www.archive.org/details/analytichierarch0000saat). ISBN 100070543712.

20. Efimova, O. V., Khomutov, A. S. Criteria for effectiveness of managerial decision-making using business simulation. In: Trends of economic development of the transport complex of Russia: foresight, forecasts and strategies, April 21, 2021. Moscow, Infra-M publ., 2021, pp. 301–303. ISBN 978-5-16-017171-5.

21. Romanov, A. S., Lyakina, M. A. The formation mechanism of external effects of improving transport accessibility caused by high-speed rail development. *Network electronic journal Transportation systems and technology*, 2020, Vol. 6, Iss. 4, pp. 127–142. DOI: <https://doi.org/10.17816/transsyst202064127-142>.

22. Efimova, O. V., Baboshin, E. B. Transformation of the methodology for the formation of transport and economic balance. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2022, Iss. 6, pp. 29–38. [Electronic resource]: <https://rucont.ru/efd/746322> [limited access].

Information about the author:

Karlov, Artur V., Junior Researcher at Russian University of Transport, Moscow, Russia, info@rut-miit.ru.

Article received 10.02.2023, approved 13.03.2023, accepted 15.03.2023.





Trends in Development of Chinese-Russian Relations in the Field of Railway Transport



Teng ZHANG

Teng Zhang

China Railway First Survey and Design Institute Group CO., Ltd. (CRCC), Xi'an, Shaanxi Province, People's Republic of China.

✉ tengteng@yandex.ru.

ABSTRACT

The article analyses the nature of transport relations between Russia and China in order to identify the main trends and forecasts regarding development of cooperation between the two countries in this area.

A brief excursion into the history of interaction of partners includes the retrospective of construction of mainlines that served to increase the efficiency of transportation.

The emphasis in the analysis of prospects is on improvement of transit routes within the framework of «One Belt One Road» and «Eastern Polygon» projects. Information is provided on construction of new and modernisation of existing railway lines with involvement of Chinese and Russian investment, including a bridge over the Amur River, the Kerak tunnel, and development of transit transportation through Kazakhstan and Mongolia. The role of transportation for effective cooperation in the energy field is emphasised.

The article considers two types of transportation – freight and passenger. In both cases, there is a steady increase in interaction, since in case of cargo transportation, the partnership has a beneficial effect on energy integration, while the efficiency of passenger logistics is determined by the railway connection between the cities of Russia and China.

The cooperation of Russian and Chinese companies in the field of advanced technologies and investments in the field of high-speed rail transport is noted.

The conclusion is made about the mutually beneficial nature and prospects of strengthening cooperation in the field of railway transport, its role in development of the region and transport infrastructure, as well as in increasing the volume of cargo and passenger transportation.

Keywords: railway transport, logistics, transport infrastructure, freight and passenger transportation, Chinese-Russian transport links.

For citation: Teng Zhang. Trends in Development of Chinese-Russian Relations in the Field of Railway Transport. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 180–187. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-5>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Despite the fact that in the history of relations between China and Russia there have been different periods, both of rise and fall, in 21st century they are definitely experiencing the best stage in their history. And in this regard, understanding history is key in predicting further ways of interaction.

Due to the location of economic and political centres of Russia and China at a considerable geographical distance from each other, relations in the field of transport are key in bilateral and multilateral partnership. Land arteries not only played a key role at the dawn of emergence of logistical ties, but also served as the basis for formation of a new paradigm of economic stability and security in the region.

If we turn to the stage of the birth of railway communication between countries, then at the beginning of 19th century, the Russian Empire, in order to strengthen its influence in the region, began the construction of «Great Siberian Way» – the Trans-Siberian Railway. At that time, cargo and passenger transportation was carried out through the territory of China – the country was an important transit point on the way from Europe to East Asia and back.

At the turn of 19th and 20th centuries, the construction of the Chinese Eastern Railway (CER) served as an incentive for development of Manchuria region, where, for example, in addition to infrastructure construction, the city of Harbin was founded. During the Soviet Union, cooperation between Russia and China in the field of railway transport was strengthened. New transport arteries were built. The CER was developed and transformed into the Changchun–Harbin Mainline, which shortened the distance between Eastern Siberia and Northeast China.

Currently, the countries are actively developing cooperation in the field of railway transport, which is reflected in implementation of major projects that contribute to development of railway infrastructure and creation of efficient transit routes between partners. In this regard, it is relevant to consider the main initiatives within which logistics projects are being implemented.

The *objective* of this article is a detailed analysis of cooperation between China and Russia in the field of railway logistics. Platforms for both bilateral and multilateral cooperation are considered, the main initiatives within the framework of which certain logistics projects are being implemented, forecasts are proposed

regarding the directions for development of railway transport in the context of large-scale geopolitical shifts and new global challenges. *Methods* of economic analysis, content analysis of scientific publications, co-logical method were used.

RESULTS

There are several mega-projects aimed at deepening Russian-Chinese cooperation in the field of transport, including on issues of infrastructural development.

The One Belt One Road Initiative¹, proposed by China in 2013 to strengthen economic ties and cooperation between China and the countries of Eurasia (various aspects of the initiative are analysed, for example, in [1–3] and other sources), is considered as a large geo-economic infrastructure project in which Russia and China act in tandem. One of the key components of «Silk Road of 21st century» is development of railway transport. Active work is underway to modernise and build new railway lines that link countries and provide transit routes for goods from China to Europe and back. Besides, China is actively investing in development of transport infrastructure in Russia, contributing to emergence of railways, ports and logistics hubs.

The development of Russian-Chinese relations plays an important role in implementation of a policy that can be called a «turn to the East» and which was proposed by Russia in the early 2010s. This initiative is seen as a response to the increased risks caused by the unfriendly policies of European partners towards Russia. The policy is not only aimed at reducing dependence on European countries, but also at strengthening Russia's cooperation with Asian and Pacific countries, including China. China acts as a key partner of Russia within the framework of this policy. Both countries adhere to the principles of multipolarity, justice and mutually beneficial cooperation, implementing them through active cooperation in various sectors.

As part of these projects, Russia and China are actively developing bilateral transport links and logistics infrastructure, which includes construction of new railway lines, development of ports, modernisation of transport routes and creation of transit corridors for freight and

¹ Belt and Road Initiative. The World Bank. [Electronic resource]: <https://www.worldbank.org/en/topic/regional-integration/brief/belt-and-road-initiative>. Last accessed 20.02.2023.



passenger transport. The development of transportation routes makes it possible to facilitate trade between countries and mutual investment and provides more efficient transport links.

So, in 2022, the construction of a railway bridge across the Amur River was completed. The project was implemented within the framework of an intergovernmental agreement through the Russian-Chinese Investment Fund, the main shareholders of the project were also JSC Russian Railways and VEB.DV (56,25 %, 25 % and 18,75 %, respectively). The total amount of investments exceeded 10 billion rubles. Additionally, siding rail tracks were built in the Jewish Autonomous District². The maximum capacity of the railway artery is up to 24 million tons of cargo per year in both directions³⁴.

In general, development of Russian-Chinese relations contributes to strengthening the economic and political cooperation of the entire Eurasian region, to creation of the sustainable and mutually beneficial partnership to ensure peace, stability and prosperity. In the context of cooperation between Russia and China in the field of transport, it is worth highlighting two main types of railway transportation: freight and passenger. Key prospects for interaction in operation and construction of railways include various aspects.

Freight Transportation

Traditionally, the sphere of cargo transportation occupies a prominent place in relations between Russia and China. The development of routes and transit corridors between two countries provides opportunities not only for more efficient delivery of goods, but also strengthens the comprehensive partnership between two countries. The economic power of China makes it one of the largest consumers of energy resources, and Russia has

huge reserves of them. This interdependence determines the availability of long-term contracts for supply of energy resources: coal, oil and gas. The export of Russian energy resources to China and the import of Chinese goods to Russia by rail have great potential for further development. Countries continue to develop rail infrastructure to improve cargo transportation. Joint operation, upgrading, modernisation and construction of new railway lines help to reduce time and cost of delivering goods between two partners, which stimulates mutual economic growth, and also helps to reduce the risks of disruptions in supply chains.

Russia is one of the world's largest producers and exporters of coal. China is also one of the largest consumers of this energy resource. Between two countries, there is an active flow of this resource with railway transportation. Coal is delivered from Russian regions, Kuzbass and Transbaikalia, to Chinese ports and energy enterprises. In addition to coal and ore, other resources are also transported between Russia and China, such as timber and oil. Russian timber is exported for use in construction and manufacturing, while oil is supplied to companies to meet energy demand. Transportation of energy resources between Russia and China is an important component of trade and economic cooperation between the countries. Railways play a significant role in ensuring reliable and efficient delivery of goods, which has a positive impact on economic integration and development in the region.

Since the end of the Covid-19 pandemic, there have been significant changes in global logistics and transport. It is worth noting a sharp increase in the flow of goods from China to Russia after recession of the pandemic period. This phenomenon can be explained by the increased demand for multimodal transportation, which includes railway, road and sea routes.

Growth in the frequency of departure of container trains and the volume of transportation on routes for the period 2011–2016 was analysed by the authors of the report [9].

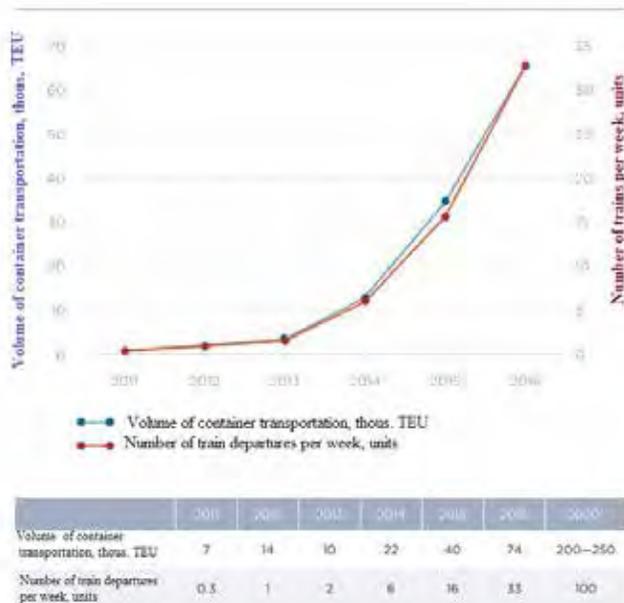
Growth continued in subsequent years. According to JSC IC RZD-Invest⁵, in 2020 it even exceeded the volumes predicted by the

² Russia opens first cross-border railway bridge to China [V Rossii otkryli pervyi transgranichnyi zheleznodorozhnyi most v Kitai]. [In Russian]. IA «RIA Novosti», 27.04.2022. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=202297>. Last accessed 20.02.2023.

³ Potaeva, K. On the Amur the largest long-term construction is completed [Na Amure zavershili samyi masshtabnui dolgostroy]. [In Russian]. «Vedomosti». [Electronic resource]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/04/27/920079-na-amure-zavershili>. Last accessed 20.02.2023.

⁴ ERAI – Eurasian Rail Index Alliance. Review. November 2022. Euroasian railway route: prospects for expanding exports from Russia to China. [Electronic resource]: https://index1520.com/upload/medialibrary/c7e/ijppl258g/hzgmknjwd16gntf0qbrnjii/221218_OTLK_Rus.pdf. Last accessed 20.02.2023.

⁵ Dynamics of railway container transportation of the countries of space 1520 on the routes China–Europe–China, thousand TEU. Analytics of JSC RZD-Invest specially for the forum PRO/MOTION.1520. [Electronic resource]: https://gudok.ru/Аналитика_МеждународныеТранспортныеКоридоры_РЖД-Инвест.pdf. Last accessed 21.02.2023.



Pic. 1. Data on volume of container transportation and number of train departures on the route China–Europe–China [9].

authors (Pic. 1 [9]) and reached 550,8 thousand TEU (Pic. 2).

Supply chain disruptions caused by the Covid-19 pandemic have forced countries to intensify development of transport infrastructure. There is also a tendency to diversify the directions of new transport routes. Thus, as part of One Belt, One Road initiative, several transport corridors are being built.

The cumulative result of this interaction is that, according to JSC Russian Railways, 2022 was a record year in terms of railway transportation, and in the first months of 2023, the volume transported towards Chins increased by an additional 85 % compared to the same period last year. Thus, in 2022, it was possible to achieve a volume of 123 million tons of cargo, and in January–February 2023–26,9 million tons⁶. If the current pace is maintained, the volume can reach up to 160 million tons.

Speaking about the prospects for development of this sector, it is worth mentioning the importance of not only the direct cross-border transportation between Russia and China, including reconstruction and construction of additional new railway checkpoints on the border between Russia and China (for example,

Zabaikalsk⁷), but also interaction through the transit corridors of Mongolia and Kazakhstan. For example, construction of a third checkpoint on the China-Kazakhstan border with the adjoining Ayagoz–Bakhty railway line⁸.

Passenger Transportation

There is an active development in this area of cooperation between Russia and China since passenger trains connect the cities of both countries and provide comfortable and convenient movement of people. Strengthening partnerships in this area provides more opportunities for development of tourism and international transportation. As part of construction of new railway lines and modernisation of existing routes, Russia and China continue to improve the infrastructure for passenger transportation logistics, which includes development of new high-speed railway projects, improving comfort and safety conditions for passengers. The prospects for cooperation in operation and construction of railways between Russia and China in cargo and passenger transportation promise further development of transport

⁶ Russian Railways recorded an increase in cargo transportation between Russia and China by 85 % since the beginning of the year [in Russian]. IA Prime. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=208617>. Last accessed 21.03.2023.

⁷ The largest railway checkpoint on the border with China was opened in Zabaikalsk after reconstruction [in Russian]. [Electronic resource]: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10223>. Last accessed 20.02.2023.

⁸ Russian Railways are considering creation of new checkpoints on the border with China [in Russian]. «Interfax». [Electronic resource]: <https://www.interfax.ru/russia/874657>. Last accessed 21.02.2023.





Pic. 2. Dynamics of railway container transportation of the countries of space 1520 on the routes China–Europe–China, thousand TEU⁹. Source: data of the Organization for Cooperation between Railways, analysis by RZD-Invest JSC.

cooperation, facilitating transit and increasing the efficiency of movement of passengers and goods between the two countries.

The Covid-19 pandemic has made some adjustments to the dynamics of development of railway transport. The implementation of the «zero tolerance» policy as a restrictive epidemiological measure has somewhat slowed down the pace of China's economic development. The closure of borders also affected the volume of passenger and freight transportation, caused its decrease. For example, due to the presence of restrictive measures, the bridge across the Amur River was opened only in 2022, although its construction was completed in 2019.

Multilateral Cooperation

Further conjugation of the efforts of Russia and China is promising, in particular, in the field of railway transport, in the format of international organisations. The expansion of such a regional organisation as the Shanghai Cooperation Organisation is most noteworthy. The attraction of new partners, such as Pakistan and Iran, contributes to strengthening of Chinese-Russian relations not only in a bilateral, but also in a multilateral format. This is due to the increase in the reputation of the organisation, the ideological inspirers of which were, first of all, Russia and China. This further strengthens the economic and logistical security of the entire region [10]. Cooperation in the field of transport is not considered as a new phenomenon, joint coordination in the field of infrastructure has been stipulated by the SCO charter, which determines the basis for the organisation's activities.

As part of the One Belt, One Road initiative, China is actively participating in various infrastructure projects not only in Russia, but also in Mongolia and Uzbekistan, in order to increase and stabilise the flow of goods from

China to Europe. These projects are carried out to diversify sales markets and reduce risks, as well as to develop transport corridors and improve the efficiency of trade between China and Europe. Some Chinese state-owned corporations that are investing in infrastructure projects in Mongolia and Uzbekistan are:

1. China Communications Construction Company (CCCC): one of the largest Chinese state-owned companies specialising in infrastructure construction. CCCC is actively involved in implementation of projects for construction of railways, roads, bridges and ports in Mongolia and Uzbekistan, which contribute to development of transport links and an increase in the flow of goods⁹.

2. China Railway Group Limited (CREC): a leader in the construction industry in China, specialising in construction and operation of railways. The company takes part in projects for construction and modernisation of railways in Mongolia and Uzbekistan, including development of a joint investment project for construction of the transport corridor «China–Mongolia–Russia».

Financial and Monetary Settlements in National Currencies between Russia and China

New geopolitical realities dictate new trends in logistics partnerships. The basis of the agenda is implementation of the policy of financial and monetary settlements in national currencies [11–15].

The use of national currencies in transport and logistics calculations and settlements not only contributes to diversification of risks, but also stimulates payment systems alternative to

⁹ Top largest Chinese construction companies in Russia. [Electronic resource]: https://raspp.ru/business_news/top-chinese-construction-companies-in-russia/. Last accessed 20.02.2023.

SWIFT. Mutual settlements between the Russian Federation and the PRC in national currencies have reached structurally new levels. Thus, according to the Ministry of Commerce of China, the volume of foreign trade transactions of the PRC in yuan in 2022 increased by 37 % and reached \$1,17 trillion, or about 17 % of the total volume of foreign trade transactions¹⁰. The Russian Federal Customs Service reports that the foreign trade turnover of the Russian Federation in 2022 amounted to \$850,5 billion. According to information of the Bank of Russia of March 2023, the share of yuan in external trade settlements has grown from 0,5 to 16 %, and the share of ruble from 12 to 34 %¹¹. Since August 2022, Russia has been ranked 3rd in terms of the use of yuan in cross-border trade¹². Thus, strategic security is multiplied by reducing risks caused by external factors.

Capacity Building and Optimisation of the Use of Transport Infrastructure

The structurally established flow of containerised cargo from China is unidirectional – to Russia. To optimise cargo transportation, it is worth paying attention to certain problems, first of all, to the use of empty trains to send goods from Russia. So far, the carrying capacity of the Russian Railways network, in the opinion of the author, is insufficient to send empty trains for subsequent loading in those regions of Russia that export ore and timber to China, which, in turn, limits the possibility of increasing traffic volumes and complicates the effective use of the railway infrastructure. The same applies to the loading of container trains.

However, the problem of reverse loading should be solved within the framework of the Eastern Polygon project. The current projects of Russian Railways include completion of modernisation of the Trans-Siberian and Baikal-Amur railways. Due to comprehensive

modernisation of two mainlines, the throughput of the railway network should almost double, from 75 to 180 million tons, transit container traffic should grow by four times, and the time of delivery of goods by rail will be significantly reduced¹³.

The development of the «Eastern Polygon» is underway as part of implementation of the national project «Comprehensive Plan for Modernisation and Expansion of the Trunk Infrastructure» (KPMI)¹⁴. The first achievement of this project was opening of the Baikal Tunnel of the East Siberian Railway in July 2021¹⁵. The second stage of creation of the «Eastern Polygon» should be completed in 2024 with the construction of a new double-track Kerak tunnel on the Kovali–Ulruchi section, which will increase the speed of trains and capacity on the Trans-Baikal section of the Trans-Siberian Railway. To increase the transit capacity of the most important hub at the Eastern range in Khabarovsk region, the construction of a third track on Khabarovsk I–Khabarovsk II section of the Far Eastern Railway has begun. Its length will be 9,9 kilometers¹⁶.

The development of transport infrastructure within the framework of this project has the following advantages:

1. Increasing the potential of transportation: new opportunities for development of railway and road transport between Russia and China, reducing time and cost of delivering goods and increasing cargo turnover and transportation efficiency.

2. Initiatives to build joint container handling centers will help simplify logistics processes, speed up cargo operations and improve coordination between Russian and Chinese transport companies.

3. Promoting cooperation between Russia and China in the economic sphere, developing trade,

¹⁰ The volume of yuan transactions in China's cross-border trade in 2022 increased by 37 %. ITAR-TASS. [Electronic resource]: <https://tass.ru/ekonomika/16783537>. Last accessed 20.02.2023.

¹¹ The share of yuan in the calculation of exports from Russia in 2022 jumped from 0,5 % to 16 %. «Interfax». [Electronic resource]: <https://www.interfax.ru/business/890332>. Last accessed 09.03.2023.

¹² Russia ranked third in the use of the yuan in international settlements. RIA «Novosti». [Electronic resource]: <https://ria.ru/20220819/yuan-1810649090.html>. Last accessed 20.02.2023.

¹³ Construction of 21st century. «Gudok». [Electronic resource]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1622859&archive=2022.12.22>. Last accessed 20.02.2023.

¹⁴ Comprehensive plan for modernization and expansion of the main infrastructure for the period up to 2024. Decree of the Government of the Russian Federation of September 30, 2018 No. 2101-r. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/MUNhgWFddP3UfF9RJASDW9VxP8zwcB4Y.pdf>. Last accessed 20.02.2023.

¹⁵ New Baikal Tunnel opened at BAM. [Electronic resource]: <https://vszd.rzd.ru/ru/1900/page/104069?id=265010>. Last accessed 20.02.2023.

¹⁶ Eastern perspective. How the modernization of BAM and Transib will change life in Russia. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=202824>. Last accessed 20.02.2023.



investment and tourism, strengthening ties between the regions of two countries.

4. Creation of new jobs. The implementation of the KPMI national project is part of a large project «Decent, efficient work and successful entrepreneurship»¹¹.

Among other transport projects implemented jointly by Russia and China, Moscow–Kazan high-speed railway project stands out. It was developed with participation of the leader in the field of high-speed railway technologies – China Railway Engineering Corporation¹⁷. CREC is actively involved in development, design and construction of high-speed railways around the world. This project involves construction of a high-speed rail line between Moscow and Kazan, which will significantly reduce travel time and provide a more efficient connection between two cities.

As part of the initiative to build high-speed railways Moscow–Kazan and Moscow–St. Petersburg (HSR «Moscow–St. Petersburg»), interest was expressed in implementation of this project together with Chinese companies and the possible attraction of financing¹⁸. The main goal is to create a modern high-speed rail link between two major Russian cities, which will significantly improve transport accessibility.

Given the extensive experience in construction and operation of high-speed railways in China [16], cooperation with Chinese companies provides access to advanced technologies in the field of high-speed rail transport.

High-speed rail projects involving Chinese companies reflect the desire of Russia and China to cooperate in development of transport infrastructure and improved communication between cities. This allows creation of modern and efficient transport routes that contribute to growth of the economy and increase the mobility of people.

CONCLUSIONS

The prospects for development of Russian-Chinese relations in the field of railway logistics are encouraging. It is worth paying attention to the following trends and forecasts:

¹⁷ China and Russia set up a working group on Moscow–Kazan high-speed rail project. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=153444>. Last accessed 20.02.2023.

¹⁸ Russia and China agreed to cooperate in the field of high-speed rail. [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=122847>. Last accessed 20.02.2023.

1. Increase in cargo traffic. Every year there is an increase in container cargo transportation between Russia and China. This is due to the growth of economic cooperation, the increase in trade turnover and the expansion of mutual investment activity. The increase in containerised cargo indicates the growing need for reliable and efficient transport logistics between two countries.

This factor requires creation of additional container terminals and infrastructure to ensure efficient logistics processes.

To ensure more efficient transportation of containerised cargo between Russia and China, construction and modernisation of railway lines, terminals and logistics centers is underway. An example is the initiative put forward by the South Ural Railway.

2. Use of national currencies. Russia and China are working to strengthen the use of national currencies in foreign trade, which reduces dependence on the US dollar and facilitates settlements between countries. The transition to yuan contributes to simplification and acceleration of financial transactions, including in the field of container transportation.

One of the vectors is development of digital currencies, which provide new opportunities for safe and efficient financial transactions in the field of international trade and transportation. This could have a positive impact on container transportation by providing more convenient and transparent financial arrangements.

In general, further development of container cargo transportation between Russia and China is expected in the future due to the growth of trade turnover, development of infrastructure, strengthening of the use of national currencies and the possible introduction of digital currencies. These factors create a favourable environment for further strengthening of cooperation in the field of railway container transportation.

3. Increasing throughput. Countries understand the importance of increasing the capacity of railways to ensure efficient movement of goods. Both countries are expected to invest in upgrading and developing their rail networks to increase capacity and facilitate transportation.

4. Growth of cooperation in the field of railway infrastructure. The partners will continue active interaction and cooperation in harmonising plans and strategies for development of railway logistics, which will allow both countries to optimise the flow of goods, coordinate infrastructure projects and

reach agreements on customs procedures and traffic regulation.

5. Collaboration on high-speed rail. A possible area of joint work between Russia and China is implementation of HSR projects. Chinese companies, such as CREC, can actively participate in design, construction and financing of such projects, which will serve as a new stage of cooperation and contribute to rapid and efficient development of rail logistics between two countries.

The development of interaction between two countries in the field of railway logistics can be attributed to a favourable area for further cooperation, as the partners are making efforts to increase cargo traffic, enhance capacity and improve infrastructure. Another important factor is that the mutual interests of two countries in the energy sector, where Russia is a supplier and China is an important consumer of raw materials, can be useful to each other for development of trade and economic cooperation. This aspect is extremely important in view of the global change in the political architecture.

REFERENCES

1. Zhixin, Zhang. The Belt and Road Initiative: China's New Geopolitical Strategy? *China Quarterly of International Strategic Studies*, 2018, Vol. 4, Iss. 3, pp. 327–343. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2377740018500240>.
2. Haoyuan, Sun. The Influence of the Belt and Road Initiative on the Technological Upgrade of Enterprises in Countries and Regions along the Belt and Road: Study based on Difference-in-difference Model. *BCP Business & Management*, 3rd International Symposium on Frontiers of Economics and Management Science (FEMS 2022), 2022, Vol. 19, pp. 364–365. ISBN 978-1-62437-375-6. [Electronic resource]: <https://bcpublishing.org/index.php/BM/article/view/826/834>. Last accessed 20.02.2023.
3. Shuangning, You. Does the Belt and Road Initiative promote industrial upgrading and rationalisation and adjustment along the route? *BCP Business & Management*, 3rd International Conference on the Frontiers of Innovative Economics and Management (FIEM 2022), 2022, Vol. 29, pp. 522–531. ISBN 978-1-62437-582-8. [Electronic resource]: <https://bcpublishing.org/index.php/BM/article/view/2318/2298>. Last accessed 20.02.2023.
4. Li, Na. «One belt, one road» initiative as a new cooperation model of the PRC with Russia and Central Asia countries. *RUDN journal of World history*, 2018, Iss. 4, pp. 382–392. DOI: 10.22363/2312-8127-2018-10-4-382-392.
5. Kolomiets, M. O., Kukushkina, V. V. Development of Russia-Chinese relations at the present stage of globalization. *A-factor: research and development (humanities)*, 2019, Iss. 3. [Electronic resource]: <http://www.a-factor.ru/archive/item/116-razvitiie/>. Last accessed 20.02.2023.
6. Drevetskaya, S. S. Development of the transport and logistics system between Russia and China. *Problemy sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Sibiri*, 2021, Iss. 4 (46), pp. 38–42. DOI: 10.18324/2224-1833-2021-4-38-42. EDN UIJXPS.
7. Lutovinov, M. E., Safina, S. S. Russian-Chinese cooperation in the field of railway transport development [*Rossiisko-kitaiskoe sotrudnichestvo v sfere razvitiya zheleznodorozhnogo transporta*]. Humanities and challenges of our time: Collection of scientific articles on the results of 4th All-Russian (national) scientific conference with international participation, March 10–11, 2022. St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Economics, 2022, pp. 165–167. EDN HGJWEN.
8. Larin, O. N., Kupriyanovsky, V. P. Investment Support Mechanisms for Infrastructure Projects of the Chinese Belt and Road Initiative and Digital Railway Technologies. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*, 2017, Vol. 13, Iss. 3, pp. 167–175. DOI: 10.25559/SITITO.2017.3.545. EDN ZWJSFZ.
9. Transport corridors of the «Silk Road»: the potential for growth in cargo traffic through the EAEU. Report No. 49. Doctor of Economics E. Yu. Vinokurov (CII EDB), V. G. Lobyrev, A. A. Tikhomirov (JSC Institute for Economics and Transport Development), Ph.D. T. V. Tsukarev (CII EDB). St. Petersburg, CII EDB, 2018, 74 p. [Electronic resource]: https://eabr.org/upload/iblock/c2a/EDB-Centre_2018_Report-49_Transport-Corridors_RUS.pdf. Last accessed 20.02.2023.
10. Gordienko, D. V. Prospects for changing the level of economic security of the SCO member countries in implementation of the strategy of the Economic Belt «Silk Road». Asia-Pacific Region: Problems of Global and Regional Dimensions of Security. Moscow, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of the Far East of the Russian Academy of Sciences, 2018, pp. 195–266. EDN YMQADR. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36364756_15164620.pdf. Last accessed 20.02.2023.
11. Song, Jiaxue. Russian-Chinese Financial Cooperation: Possibility of Large-Scale Deepening. *Vestnik evrazijskoi nauki*, 2021, Vol. 13, Iss. 5. DOI: 10.15862/38ECVN521.
12. Zharikov, M. V. Organisation of foreign economic settlements between Russia and China in national currencies. *Vestnik Rossijskoi tamozhennoi akademii*, 2015, Iss. 2, pp. 19–27. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/download/elibrary_23572093_15660378.pdf. Last accessed 20.02.2023.
13. Gazizulina, I. A., Naibijiang, A. The yuan's role in cross-border trade settlements in China. *Science Almanack*, 2016, Iss. 11–1 (25), pp. 71–73. DOI: 10.17117/na.2016.11.01.071.
14. Chzhou Yanlin, Yao Yao. Exploring ways to deepen financial cooperation between China and Russia in the context of the project «One Belt, One Road». *Modern Economy Success*, 2021, Iss. 2, pp. 57–62. EDN XBRAII.
15. Popov, N. V. Development of financial mechanisms for bilateral economic cooperation between Russia and China in the Far East. *Ekonomika i predprinimatelstvo*, 2021, Iss. 10 (135), pp. 170–173. DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.029. EDN ARNBEN.
16. Lawrence, M., Bullock R., Liu, Ziming. China's High-Speed Rail Development, 2019, 96 p. ISBN 978-1-4648-1425-9. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/333733120_China's_High-Speed_Rail_Development. Last accessed 20.02.2023.

Information about the author:

Teng Zhang, Ph.D. (Psychology), Managing Engineer, Specialist in International Relations of China Railway First Survey and Design Institute Group CO., Ltd. (CRCC), Xi'an, Shaanxi Province, People's Republic of China, tengteng@yandex.ru.

Article received 20.02.2023, approved 13.03.2023, revised 21.03.2023, accepted 21.03.2023.





Assessment of Sustainable Development Aspects in Transport Companies Activities



Philip I. SUKHOV



Vera M. ZVERKOVA

*Philip I. Sukhov*¹,
*Vera M. Zverkova*²

^{1,2} *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉² vmzverkova@mail.ru.

ABSTRACT

Managing a company's sustainable development has an impact not only on internal processes, but also on interaction with suppliers and improvement of the system of responsible supply chain management. In this regard, it becomes necessary for transport companies as providers of logistics services to pay attention to compliance with sustainability criteria so that cooperation with them has a positive effect on the reputation and positions in customer sustainability rankings. This paper examines the criteria for evaluating the maturity of practices implemented by

a logistics service provider for large manufacturing companies in relation to their environmental and social impact. The relevance of the work lies in the need to create tools for assessing the level of sustainable development of companies in the transport industry and develop recommendations for industry-wide standards.

The results of the study might be of interest to managers and specialists of logistics companies and employees of transport universities in view of special importance of high-quality education for achieving sustainable development goals.

Keywords: *transport industry, transport companies, logistics, sustainable development, ESG factors, sustainable development goals, environmental aspects, management.*

For citation: Sukhov, P. I., Zverkova, V. M. Assessment of Sustainable Development Aspects in Transport Companies Activities. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 188–193. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Literature Review

The fundamental definition of sustainable development is «development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs»¹. The concept of sustainable development provides for three interrelated vectors of development: environmental, social, and economic².

Issues of the impact of organisations on the environment, social sphere and economy (ESG-factors) are becoming an integral part of government policy and business standards. The term «ESG-factors» (Environmental, Social and Governance) appeared in 2004 in the United Nations report entitled «Who Cares Wins». Each of the directions cannot be considered in isolation from the other two, thus, the sustainable development model is three-dimensional and assumes that the world system must simultaneously develop in all three directions.

Various areas of sustainable development are considered in scientific papers: the impact of innovations [1], the transition to a circular economy [2], ESG-transformation of companies in various sectors of the economy [3–5]. The sustainable development of transport companies is also in the focus of attention of researchers [6], while this topic can be considered also considering national specifics.

RESULTS OF THE STUDY

At the end of 2022, the topic of sustainable development remained in the focus of Russian companies. According to experts, currently, there is a change in the priorities of sustainable development: while the environment is kept on the main agenda, the role of social aspects is increasing³.

¹ The 17 goals. Sustainable Development. [Electronic resource]: <https://sdgs.un.org/goals>. Last accessed 06.01.2023.

² GRI 101: Foundation 2016. [Electronic resource]: <https://www.globalreporting.org/media/wwwkhynd/gri-standards-consolidated-2020.pdf?g=419257b1-08c5-497a-a7ad-fc7b8e7445d3#page=4&zoom=100,0,0>. Last accessed 06.01.2023.

³ «A temporary rollback is possible»: how the «balance of letters» has changed in ESG [*Vosmozhen vremennyi otkat: kak izmenilsia ballans bukv v ESG*]. RBC. 2022. 24 October. [Electronic resource]: https://www.rbc.ru/business/24/10/2022/6352e2649a7947086a3bca20?utm_medium=share&utm_source=app_ios_reader&utm_campaign. Last accessed 11.12.2022.

The main guidelines for Russian companies in matters of sustainable development are international standards, state regulation and expert estimates of consulting companies. Let's take a closer look at each source.

International Standards

Several large Russian companies are already successfully integrating sustainable development goals into their strategies. The awareness of the importance of sustainable development by Russian businesses was underlined by a 2019 PwC study, according to which 66 % of the surveyed members of the Boards of Directors of Russian companies believed that the overall strategy of the company should be aligned with sustainable development goals⁴. The national network of the UN Global Compact Network, the UN's international business initiative, brings together more than 50 Russian companies and institutions operating in almost all regions of the country, including such major global players as Rosneft, Lukoil, RUSAL, Severstal, Norilsk Nickel, Polymetal, RusHydro, AFK Sistema, JSC Russian Railways, and others⁵. For example, JSC Russian Railways contributes to achievement of 13 of the 17 UN Sustainable Development Goals (Pic. 1).

To achieve sustainable development goals, it is also important to focus on evaluation criteria. They are formed by ranking agencies based on information disclosure standards. The most significant sustainable development rankings are conducted by Sustainalytics, MSCI, ISS, etc. In their assessments, they are based on international reporting standards, for example, the Global Reporting Initiative (GRI). The key document of GRI – «Guidelines for reporting in the field of sustainable development» is structured in such a way that it is harmoniously combined with other guidelines in the field of sustainable development – the «OECD Guidelines for Transnational Enterprises», ISO 26000 and the UN Global Compact.

In relation to the transport industry, international standards can serve as guidelines and set vectors since development of more

⁴ Sustainable development in the focus of attention of boards of directors. Survey of members of the boards of directors of Russian companies, 2019. [Electronic resource]: <https://www.b-soc.ru/wp-content/uploads/2019/11/polnyj-tekst-issledovaniya.pdf>. Last accessed 06.01.2023.

⁵ Global Compact Network in Russia. [Electronic resource]: <https://media.rspp.ru/document/1/5/c/5c0d3154c8f293ed0931583268b1ad5a.pdf>. Last accessed 06.01.2023.





Pic. 1. Contribution of JSC Russian Railways to achievement of the UN Sustainable Development Goals based on the annual report of JSC Russian Railways for 2021 (Annual report of JSC Russian Railways for 2021.

[Electronic resource]: https://ar2021.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_spreads_rzd_2021.pdf. Last accessed 06.01.2023).

precise industry-specific criteria for transport is not included in the immediate plans of the global reporting initiative. Their focus is primarily on the most carbon-intensive industries. So, in 2021, an industry standard for oil and gas companies was developed. The following standards have been developed for the coal mining industry, agriculture, and fisheries. Currently, work is underway on an industry standard for mining companies (Table 1).

With regard to general standards, it is possible to distinguish environmental and social aspects in relation to a logistics company.

Environmental aspects include:

- Sources of energy consumed by the organisation.

- Water consumption.
- Biodiversity.
- Greenhouse gas emissions.
- Discharges and wastes.
- Compliance with legislation in the field of environmental protection.

At the same time, aspects such as materials and transport are not applicable to logistics companies.

The assessment of social aspects can be divided into three main groups of indicators:

- Labour protection and safety.
- Personnel management, implementation of workforce diversity and inclusion programs.
- Corporate social responsibility and observance of human rights.

Table 1

Schedule for development of draft GRI industry standards*

Name of sector standard	Status	Project start	Standard release
Standard for oil and gas	Completed	Q2 2019	2 nd half 2021
Standard for coal	Completed	Q2 2019	1 st half 2022
Standard for agriculture, aquaculture, and fishing	Completed	Q4 2019	1 st half 2022
Standard for mining	In progress	Q1 2022	Q3 2023 (expected)
Standard for food and beverages	In progress	To be started	To be determined
Standard for textiles and apparel	In progress	Q1 2023 (expected)	Q1 2025 (expected)
Standard for financial services, banking, insurance, and capital markets	To be started	Q2 2023 (expected)	Q3 2025 (expected)

* GRI – Schedule of Standards projects. [Electronic resource]: <https://www.globalreporting.org/standards/standards-development/schedule-of-standards-projects/>. Last accessed 06.01.2023.

State Regulation

Today, Russia already has its own standards and methods of information disclosure, although no documents have yet been adopted at the state level obliging Russian companies to publish non-financial reports in the field of sustainable development.

In 2021, the Central Bank of the Russian Federation published a letter with detailed recommendations on disclosure of non-financial information by public joint-stock companies. The Ministry of Economic Development plans to prepare a draft law on the publication of non-financial reporting by Russian companies, and before its release, the main guidelines for Russian companies are the recommendations of the Central Bank.

The recommendations of the Central Bank of Russia on consideration by the board of directors of a public joint stock company of ESG factors, as well as sustainable development issues, state that «taking into account ESG factors in the Company's activities, the Company's participation in achieving sustainable development goals is a complex task that requires a systematic, consistent and coordinated approach to its solution. The solution of such a task is not limited to the allocation (appointment) of a separate structural unit (official) in the organisation responsible for issues related to ESG factors and sustainable development but requires active participation from all management bodies of the Companies within their competence»⁶. In practice, this means that in addition to the dedicated structure for coordinating sustainable development activities, sustainable development management includes departments dealing with ecology and environmental protection, a social and personnel divisional block, and departments responsible for corporate governance, anti-corruption, and risk management.

The guidelines for the disclosure of non-financial information by public joint-stock companies formulate the principles of disclosure⁷. The principles address the content and context of the report and describe quality assurance requirements.

⁶ Information letter of the Bank of Russia dated 16.12.2021 No. IN-06-28/96. [Electronic resource]: <http://www.cbr.ru/crosscut/lawacts/file/5757>. Last accessed 06.01.2023.

⁷ Information letter dated of the Bank of Russia dated 12.07.2021 No. IN-06-28/49. [Electronic resource]: https://www.cbr.ru/StaticHtml/File/117620/20210712_in-06-28_49.pdf. Last accessed 06.01.2023.

To comply with the principle «Future and strategic orientation of non-financial information disclosure», it is recommended to provide information about the mission, business model, strategy, and goals. To properly assess the company's contribution to sustainable development, it is necessary to understand in what context the company considers sustainable development issues, what goals it sets for itself at the local, regional, national, and global levels. It is also recommended to disclose information about risks and factors that may affect future activities.

In accordance with the «Stakeholder oriented disclosure of non-financial information» principle, a company must identify stakeholders and explain in the report how their reasonable expectations and interests were considered when preparing the report. These are customers, shareholders, the state, suppliers, all those who are related to the company's activities. But also, these are parties that are not related to the company, but its activities significantly affect their lives (vulnerable segments of society, civil activists).

The principle «Objective, balanced and easy to understand presentation of information» determines that both positive and negative aspects of the company's activities should be shown, this will allow a reasonable assessment of the results (comparison of positive and negative impacts). It is not possible to present a sustainability report as a collection of achievements for the year. The information contained in the report should be presented to stakeholders in an understandable and accessible form.

The report should contain «necessary and sufficient disclosures». The company should include in the report only those data that show a significant impact of the company on the environment, social environment, economy. The information presented in the report must be accurate and detailed enough to enable stakeholders to evaluate performance of the company.

And finally, in accordance with the principle of «Consistency and Comparability of Disclosures», reports are published based on a regular just-in-time schedule, so that stakeholders can be guided by deadlines and make timely decisions based on the data contained in the report. To compare the



company's performance in different reporting periods (to see the dynamics of changes), as well as to compare it with the performance of other companies, the presentation of information in the report should be uniform.

Expert Estimates of Consulting Companies

In the field of activity of consulting companies involved in assessment and consulting on sustainability issues, two groups can be distinguished. The first includes large international companies or their successors in the Russian Federation that separated in 2022. The second group is represented by niche regional companies. And if the first group of companies are typically using model international standards with their necessary adjustment to the requirements of national legislation, then the second group is of greater interest due to the author's developments and methods. Let's consider the example of a method for diagnosing sustainable development from a TSQ Consulting company⁸. As part of the methodology, it is proposed to assess 25 aspects in seven areas:

1. Goals and values.
2. Management and leadership.
3. People and culture.
4. Production processes.
5. Experience in customer service and marketing.
6. Business ecosystem (transparency and openness of interaction with the external contour of the organisation).
7. Monitoring and reporting.

The evaluation is carried out separately for each of seven impact areas to highlight areas that are not yet sufficiently developed to be used as opportunities to strengthen the resilience of the organisation.

As a result, diagnostics allows assessing the level of stability of the company. Low sustainability means that sustainable development in the company is only in its infancy. At this stage, it is important to clearly define a goal, form a strategy and then draw up a roadmap. Average stability shows that the company is on the right track to implement sustainable development approaches in all

⁸ How to assess the sustainability of a company? [*Kak otsenit' ustoychivost' kompanii?*]. TSQ Sustainability. [Electronic resource]: https://tsqconsulting.ru/sustainability/level_sustainability_otsenka. Last accessed 06.01.2023.

business processes of the organisation. At this stage, it is very important to work in two directions – with processes and with people, building a special corporate culture. It is important to create a system in which employees cannot act otherwise than in an environmentally and socially responsible manner. High sustainability means that the company is a leader in sustainable development. At this stage, the company can be a role model and influence dissemination of sustainable development practices among partners, contractors, and suppliers as well as in subsidiaries.

Particular attention should be paid to the fact that in the proposed methodology, a separate emphasis is placed on the company's personnel. This approach will be especially relevant for transport companies that are the largest employers since successful implementation of sustainable development goals will depend on involvement of personnel in this process.

Recommendations Based on the Results of the Study

For the purposes of sustainable development not only of individual companies, but of the entire transport industry, the following recommendations can be proposed.

Firstly, to increase transparency in the issue of greenhouse gas emissions for customers, it is necessary to develop a single standard for calculating the carbon footprint of transportation for various modes of transport. This information can be presented in the form of an environmental calculator on the website of logistics companies, and when you enter the start and end points of the route, it will allow you to calculate emissions from transportation.

Secondly, it is necessary to develop a single standard for the sustainable development management system. For Russian companies, international standards can be taken as an example, but with mandatory adaptation. A single standard will allow systematising and streamlining all the processes of sustainable development of companies in the transport industry, and not just the preparation of reports.

Thirdly, to ensure the sustainable development of companies, it is necessary to use modern technologies to achieve the goals of sustainable development. As an example, we can cite technologies using alternative

energy sources [7], digital twins [8], advanced learning methods [9], etc.

Fourthly, when disclosing non-financial statements, it can be recommended for transport companies to conduct a survey of stakeholders, including public organisations and the public, on topical topics for disclosure. This approach will make it possible to build systematic work on the social aspects of sustainable development.

CONCLUSIONS

Thus, to assess sustainable development of a logistics company, several key conditions must be met. First, fixing the company's goals and priorities for sustainable development in strategic documents (for example, policies and concepts of sustainable development). Secondly, implementation of tools to achieve sustainable development goals should take place in accordance with the selected priorities. Thirdly, annual public reporting should be formed with enough disclosed information that meets the requirements of relevance, balance, accuracy, consistency, and comparability.

Based on this, three levels of company sustainability can be distinguished: low, medium and high.

It is also necessary to conduct research in the field of developing uniform requirements for assessing sustainability of companies in the transport industry, because this area of activity has its own technical, environmental, managerial, and social characteristics. It is necessary to develop criteria that are significant for ranking the state of sustainable development of a company in the transport industry, with their subsequent verification, including expert assessments.

REFERENCES

1. Silvestre, B. S., Țircă, D.-M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 2019, pp. 325–332. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/328290726_Innovations_for_sustainable_development_Moving_toward_a_sustainable_future. Last accessed 09.02.2023.
2. Dantas, T. E. T., de-Souza, E. D., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M. T., Soares, S. R. How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, April 2021, pp. 213–227. DOI: 10.1016/j.spc.2020.10.005.
3. Edemskaya, V. A., Davydova, E. D., Sukhov, F. I. Russian retail ESG transformation development. *Vestnik Universiteta*, 2022, Iss. 9, pp. 72–80. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49607528>. Last accessed 09.02.2023.
4. Tikhonov, V. A., Stepanova, N. R., Shalina, D. S. ESG transformation of banks as a driver for the development of ESG practices under sanctions pressure. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*, 2022, pp. 556–562. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50148801>. Last accessed 09.02.2023.
5. Zakharin, Yu. S., Melnikova, A. K. The Russian oil and gas sector: evolution of ESG revolution. In: *New imperatives for sustainable development of the socio-economic system: Collection of the best reports based on the materials of 11th National Scientific and Practical Conference of the Master's Institute with International Participation*. St. Petersburg State University of Economics, 2022, pp. 75–78. [Electronic resource]: https://www.aton.ru/research/reports/rossiyskiy_neftegazovyy_sektor_evolyutsiya_esg_revolyutsii/. Last accessed 09.02.2023.
6. Grabara, J., Dabylova, M., Alibekova, G. Impact of legal standards on logistics management in the context of sustainable development. *Acta Logistica International Scientific Journal about Logistics*, 2020, pp. 31–37. [Electronic resource]: https://actalogistica.eu/issues/2020/I_2020_05_Grabara_Dabylova_Alibekova.pdf. Last accessed 09.02.2023.
7. Vakulenko, S. P., Pudovikov, O. E., Kalinin, K. A., Matveeva, A. G. Prospects for the use of hydrogen traction on the railways of the Russian Federation [*Perspektivy primeneniya vodorodnoi tyagi na zheleznykh dorogakh Rossiiskoi Federatsii*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2022, Iss. 5, pp. 38–41. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48470705> [limited access].
8. Klimov, A. A., Kupriyanovskiy, V. P., Voropaev, Yu. N., Pokusaev, O. N., Dobrynin, A. P., Ponkin, I. V., Lysogorsky, A. A. Digital twins based on the development of BIM technologies, related ontologies, 5G, IOT and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 3, pp. 55–74. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42543776>. Last accessed 09.02.2023.
9. Vakulenko, S. P., Egorov, P. A., Klycheva, N. A., Maksimova, E. S. Focusing on modern challenges and trends. On training in the field of logistics, international transportation and digitalization of the transportation process [*Orientiruyas na sovremennye vyzovy i tendentsii o podgotovke kadrov v oblasti logistiki, mezhdunarodnykh perevozok i tsifrovizatsii perevoznochnogo protsesssa*]. *Zheleznodorozhnyi transport*, 2022, Iss. 6, pp. 50–53. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48470705> [limited access]. ●

Information about the authors:

Sukhov, Philip I., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Chemistry and Engineering Ecology of the Institute of Management and Digital Technology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, philipp.sukhov@mail.ru.

Zverkova, Vera M., master's student at the Department of Chemistry and Engineering Technology of the Institute of Management and Digital Technology of Russian University of Transport, Moscow, Russia, vmzverkova@mail.ru.

Article received 23.01.2023, approved 17.02.2023, accepted 27.02.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-7>

The Structure of Organisation Management Methods within the Value Chain



Alexey P. Tyapukhin

*Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Orenburg, Russia.*

✉ atyapukhin@mail.ru.

Alexey P. TYAPUKHIN

ABSTRACT

The objective of the article is to create theoretical and methodological prerequisites for substantiating management methods of transport organisations within value chains and increasing their efficiency by preventing possible contradictions and conflicts when fulfilling an order for the end consumer of services and/or products.

The hypothesis of the study is associated with the assumption that it is possible to determine the specific quantity and quality of methods for managing transport organisations in value chains and identify the relationship between them, which will allow the formation of an integrated management system for chains and various modes of transport.

The methods of classification, synthesis, analysis, induction, and deduction were chosen as research methods while binary matrices formed based on classification features of objects and their dichotomies were used as a tool.

The study has resulted in substantiation of the content of the resource approach to the justification of the methods of managing a transport organisation; development of a classification of administrative, economic, organisational, and socio-psychological methods of managing this organisation; revealing interrelations of methods, principles, and approaches to management of objects of social and economic systems.

The implementation of the obtained results will reduce the likelihood of occurrence of contradictions in the value chains by harmonising the content of the systems managing its links; create prerequisites for reducing the lost profits of this type of chains as well as time and costs for making and implementing management decisions; and for responding in a timely manner to the unique requirements of end users of products and/or services.

Keywords: transport organisation, system, goal, task, principle, method, approach, function.

Acknowledgments: the article was prepared in accordance with the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2023.

For citation: Tyapukhin, A. P. The Structure of Organisation Management Methods in the Value Chain. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 194–204. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-7>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

Transport organisations are key links in supply chains, ensuring the coordination of supply and demand in different types of markets. Effective management of a transport organisation focused on creating value for end users of services and/or products is its most important competitive advantage. Therefore, special attention should be paid to design, formation, and optimisation of the management system of a given organisation. This management system, in particular, is understood as «a set of interrelated or interacting elements that establishes policies and goals and that allows achieving these goals in a safe, efficient and effective way» [1].

Management systems traditionally include a subject (who controls?) and an object (who or what is controlled?). In the first case, we are talking about a totality of an orderly hierarchy of persons who make and implement management decisions, and in the second case, about persons involved in implementation of these decisions, who are in certain relationships and who process resources in accordance with the rules of business processes. If we recognise that people are the most valuable object of management [2], then the «human resource system» [3] should be singled out as part of the organisation's management system, the component of which is «human resource management practice (HRMp)» or «the process of attracting, motivating and retaining of employees to ensure the survival of the organisation» [4]. There are some differences between the terms «management system» and «human resource system», therefore, in the future, to eliminate the double interpretation of a particular term related to management of not only human resources, but also the entire organisation, the term «management system» will be used.

The interaction of the subject and object of management involves formation and periodic updating of the components of the management system of a transport organisation, the composition of which and relationships within which are diverse. Among other things, they include management methods [5] or «methods of influencing teams or individual workers to coordinate their activities in the production process»¹. There are also some differences between the terms «management methods» and

«human resource management practices». Therefore, in the future, the term «management methods» will be used as the main term.

Many researchers emphasise the importance of correct application of organisation management methods and confirm their high efficiency, for example, the authors of [6–14]. However, not all experts are sure that good personnel management affects the performance of an organisation, including, for example, the authors of [15–17], referring, among other things, to the lack of empirical data on this issue [4].

Finding out the reasons for insufficient effectiveness of management methods is the topic of a separate study. Nevertheless, it is already possible to put forward a hypothesis about the fuzzy structuring of transport organisation management systems, which provokes ambiguity and unreasonable diversity not only of their components, but also of the relationships between them. The above problem is seriously complicated when it comes to value chain management, which involves design and use of multiple organisational management systems, as well as their integration to better meet the requirements of end users of services and/or products.

The article proposes a systematic approach to solving this problem, which allows not only to integrate methods, principles and approaches to management of transport organisations and value chains, but also to create prerequisites for improving the theory and methodology of human resource management inside and outside the organisation.

REVIEW OF LITERATURE SOURCES

There are different points of view on the composition and structure of the organisation's management system. According to A. S. Gutterman, the components of this type of system include «policy, planning, implementation and operations, performance evaluation, improvement and management review»² [18]. If we conduct a preliminary analysis of the list of these components, we can note the following:

1) The list includes the following heterogeneous objects: three management functions (planning, implementation and management review); business process components (operations); management tool

¹ Organisation personnel management: Textbook. Ed. by A. Ya. Kibanov. Moscow, Infra-M publ., 1997, 512 p.

² Some citations represent reverse translation into English from the author's text in Russian. – *Ed. note.*



Main components of human resource management practices [compiled by the author]

Authors	Components of human resource management practices
J. Purcell [20]	«career development and promotion opportunities; learning opportunities; impact on work and problems; involvement and communication; performance management and evaluation processes; balance between work and personal life»
D. E. Guest [21]	«HRM Strategy, set of HRM Policies, HRM Result Set, Behavioural Results, Performance Results, and Financial Results»
P. Boselie, G. Dietz, C. Boon [22]	«training and development, wages and rewards, and performance management»
G. Dessler [23]	«determining human resource needs, selection, recruitment, training, remuneration, evaluation, as well as concern for labour relations, occupational safety and health, equity issues»
N. J. Foss, K. Laursen, T. Pedersen [24]	«delegation of responsibility, such as team production; knowledge incentives such as profit sharing, individual incentives and incentives for knowledge sharing; internal communication encouraged, for example, by practices related to knowledge sharing or job rotation; employee training, both internal and external; recruitment and retention, such as internal staff promotion policies»
K. Laursen, N. J. Foss [25]	«Practices including: (a) delegation of responsibility, (b) knowledge stimulation; (c) knowledge sharing; (d) employee training; (e) recruitment and retention»
K. Alusa, A. Kariuk [26]	«job security, selective hiring, self-managed teams, performance-based compensation, extensive training, reduction of status disparities and information sharing»
R. Sepahvand, R. B. Khodashahri [27]	«recruitment and selection, training and career development, performance appraisal, compensation and benefits»

(policy); management task (implementation), as well as a statement of the results obtained (efficiency assessment).

2) This list can be clarified and supplemented. For example, motivation, control, integration, regulation can be added to management functions; regulations and a system of motivation can be added to management tools, sustainable development can be added to management tasks, etc.

3) The components of the management system can form logical sequences and have clear relationships. For example, planning is used first, then policy, then implementation and performance evaluation.

4) The management system includes components of different levels. For example, functions, like business processes, consist of operations, while policies, in turn, are part of the organisation's strategy.

In the above list of management system components, as you can see, the term «human resources» is not used. Therefore, it is necessary to identify the components of the practice of human resource management, which, according to M. Armstrong, comes down to «informal approaches used in managing people» [3]. In addition, one should distinguish between the practices of working with human resources which

includes «the process of creating a pool of suitable candidates, recruiting individuals, selection and training» [19] and the practice of human resource management.

Variants of the main components of the practices of human resource management are given in Table 1.

Thus:

1) There is a significant variety of points of view on the content of the components of human resource management practices, while the authors, as a rule, do not provide sufficient arguments to single out these and not other components.

2) Each point of view differs from other points of view by a different number of proposed components of human resource management practice, while this number is also insufficiently substantiated.

3) The components proposed by the authors in specific management situations are relevant to varying degrees, which implies their ranking. Perhaps, in one organisation, first, it is necessary to improve the system of remuneration and rewards, and in another, of staff training.

4) The use of the above components involves different management methods. So, for example, delegation of responsibility, communications, career development, performance appraisal are

administrative methods of management; wages, rewards as well as compensations are carried out through economic methods, and self-managed teams, work-life balance, reduction of status differences and practices related to knowledge sharing or job change are promoted through organisational methods. If we consider the socio-psychological factors associated with the management of the organisation [28], then a group of socio-psychological methods should be attributed to a separate group of management methods. The groups of methods listed above were proposed by O. Nicolescu [5] and A. Ya. Kibanov¹.

As a result, the following theoretical and methodological aspects of the study can be formulated:

(1) The components of the management system can be ordered based on appropriate classification features, which will greatly facilitate their design and implementation in the activities of a particular organisation and value chain.

(2) Management methods cannot be effective if they are used in isolation from other groups of management system components, such as goals, objectives, principles, approaches, and functions [29], which requires a systematic approach to solving this problem.

(3) The groups of components of the organisation management system listed above should become the basis for design, formation, and optimisation of various types of chain management systems, including value chains.

METHODOLOGY

To study the above aspects of the study, qualitative methods are needed [30–33] and, first, the classification method, which involves:

(1) Substantiation and use of qualitative features characteristic of the object of study, as well as environmental factors and their dichotomies; the number and sequence of application of these features is established based on two basic methods related to clarifying the essence of the object of study: analysis of literary sources and a sociological survey of specialists.

(2) Creation of logically substantiated combinations of dichotomies of qualitative features of the object of study and environmental factors that contribute to identification of not only the states of this object, but also the phases of its development, depending on the task being solved by the researcher.

(3) Formation of binary matrices, which are based on combinations of the above qualitative features and dichotomies of the object of study and environmental factors, allowing to substantiate 2^x variants of this object, where the number «2» indicates the number of dichotomies, and x characterises the number of qualitative features used.

(4) For processing the results of the study with the help of computer software, each dichotomy of a qualitative trait can be indicated by the codes «0» or «1». At the same time, the code «0» does not reflect the absence of a dichotomy but emphasises its position opposite to the dichotomy with the code «1».

(5) Operations related to selection of qualitative features and dichotomies of the object of study and environmental factors, as well as the study of their possible combinations, are used in the descriptor method of research, and operations that help to identify the states of a given object or phases of its development are performed within the facet method of qualitative research.

Binary matrices make it possible to develop a classification of variants of the object of study within the framework of such a research method as analysis. Based on these options, it is possible to form more complex options for the object of study based on synthesis. Any combination of object variants obtained with the help of binary matrices is processed based on deduction and induction methods.

Thus, the specific features of qualitative research listed above make it possible not only to substantiate the number of options for the object of study and their combinations, but also to establish the relationship between them using the relevant qualitative features and their dichotomies, in contrast to those options and their combinations that were proposed and studied previously.

RESULTS

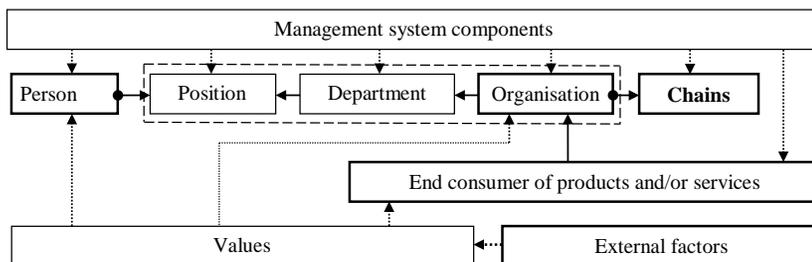
The use of the research methods outlined above makes it possible to clarify the content of the main components of the management system of the organisation and value chains. To do this, it is advisable to use the following relevant qualitative features and dichotomies: «tools for implementation of the organisation's mission» – guidelines (what does the organisation seek to achieve?), forms (with what help this «what?» will be achieved); the mechanism (how will this «what?» be achieved),



Tools for implementation of the organisation's mission

Planning Stages of the organisation's mission implementation Implementation	Guidelines	Forms	Mechanism
	(what?)	(with which help?)	(how?)
	Goals	Principles	Tasks
	Approaches	Methods	Functions

Pic. 1. Classification of organisation management system tools [developed by the author].



Pic. 2. Scheme of interaction of subjects in formation of a value chain management system [developed by the author].

as well as «the stages of the organisation's mission implementation» (planning and execution). The joint use of these features and dichotomies makes it possible to substantiate the list of components of the organisation's management system: goals, objectives, principles, approaches, methods, and functions (Pic. 1).

Information in Pic. 1 allows drawing the following conclusions:

(1) The components of the management system apply not only to the organisation, but also to the following objects of its external and internal environment: (a) a person applying for a position in this organisation; (b) an official; (c) a division of the organisation; (d) value chain; (e) the end user of services and/or products (Pic. 2).

(2) When managing these objects, it is necessary to consider not only the content of the values they want, but also the need to coordinate values with the priority of the values of the end user, as well as a possible change in these values under the influence of environmental factors.

(3) When managing the organisation, it is necessary:

(a) To form these components considering the values of this organisation.

(b) To structure and to formalise the components of the management system of a given organisation by departments and positions of the management system.

(c) To organise a recruitment of individuals to fill positions, considering the values of both the organisation and these individuals.

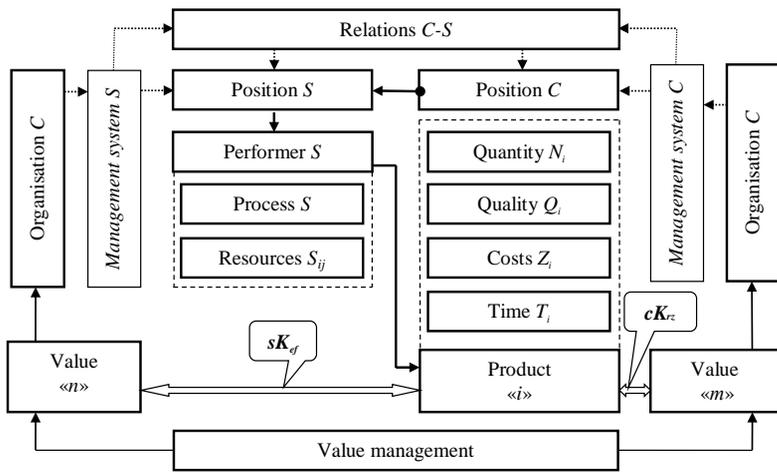
(d) To focus on creating value for the end consumer, which may require adjustments to the existing management system of the organisation.

(e) To coordinate the components of the management system with the components of management systems of adjacent links in the value chain. The mechanism of formation of the management system for the value creation channel, including the management systems of the supplier organisation *S* and the consumer organisation *C*, is shown in Pic. 3.

Focus of the links of the chain on value creation involves development of the concept of value management, which provides for harmonisation of the values of adjacent links in the chain, one of which is a supplier, and the other is a consumer of products and/or services. As a basis, it is possible to use the concept of value management within the organisation, justified by S. L. Dolan and B. A. Richley [34].

The value «*m*» of the consumer organisation *C* is the basis for formation of the management system *C* of this organisation, which involves establishment of relations *C-S* with the supplier organisation *S*, focused on the value «*n*», based on which the management system *S* is formed. Relations between these organisations are carried out by officials *C* and *S*, respectively. The result of these relationships is the product «*i*» supplied by the supplier organisation *S*.

The requirement for manufacture and supply of this product is transferred to the performer *S*, who uses the appropriate resources S_{ij} and process



Pic. 3. The mechanism of formation of the supply chain management system in implementation of the concept of management by values [developed by the author].

		Object to which the impact is applied	
		Person	Group of people
Nature of the impact application	Relatively stable	Administrative methods	Economic methods
	Situational	Socio-psychological methods	Organisational methods

Pic. 4. Classification of the organisation's management methods [29].

S for this. The manufactured product « i » is acquired by the consumer organisation C according to the criteria of quantity, quality, cost, and time, which, consuming the product, compares the desired and perceived values, the difference between which is estimated by the integral performance coefficient cK_z . A similar comparison is carried out by the supplier organisation, which also evaluates its value using the integral indicator sK_z . If the deviations of these coefficients are acceptable, organisations C and S operate within the established relationships, if they are not acceptable, then these relationships are corrected and, accordingly, the quality of the components of their management systems changes. In some cases, relations between organisations may be interrupted.

Previously, the main groups of management methods considered as a component of the organisation's management system were presented. To substantiate their quantity and quality, it is advisable to use the following relevant features and dichotomies: «object to which the impact is applied» (a person and a group of people), as well as «the nature of the impact application» (relatively stable and situational). The joint use of these signs and

dichotomies allows us to confirm the presence of administrative, economic, socio-psychological, and organisational methods for managing organisations and/or value chains (Pic. 4).

The information presented in Pic. 4 can be confirmed based on the classification of resources processed by the organisation (Pic. 5).

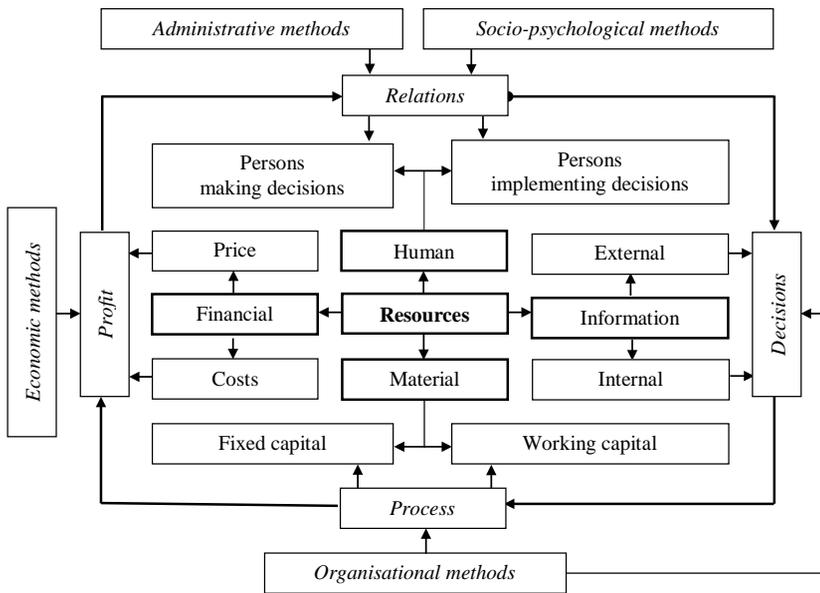
Resources, traditionally divided into material, informational, financial, and human [29], create the prerequisites for the use of:

(1) Administrative and socio-psychological methods of management used in the relationship between persons making and implementing decisions related to human resources. These management methods are most consistent with the practice of human resource management.

(2) Profit-oriented economic methods through cost management and pricing of financial resources. In this case, it is worth speaking about the practice of financial resource management (FRM).

(3) Organisational methods aimed at: (a) managing processes involving fixed and working capital, primarily in the form of material resources; and (b) justification and implementation of management decisions based on the use of external and internal information or information





Pic. 5. Resource approach to substantiation of organisation management methods [developed by the author].

Factors influencing the relationship between managers and performers

	Official powers	Forms of interaction
Design and formation	Definition and regulation of official powers and the use of power	Distribution and integration of functions, statement of responsibility
Stages of creation of management systems		
Functioning and optimisation	Grant of right of resource management	Communication management in scalar circuits

Pic. 6. Classification of administrative methods of managing an organisation [developed by the author].

resources. Depending on the type of resources used, one can single out, respectively, the practices of material resources (MRM) and information resources management (IRM).

The content of Pic. 5 is basic since all the management methods presented in Pic. 4 are applied to human resources; those methods, in turn, can also be structured for the purpose of the subsequent choice of management principles and approaches to its implementation.

The main administrative methods of management can be substantiated based on the following relevant qualitative features and their dichotomies: «factors influencing the relationship between managers and performers» (official powers and forms of interaction), as well as «stages of creating an organisation management system» (design and formation; operation and optimisation). The binary matrix formed based on these features and dichotomies makes it possible to substantiate four administrative methods of management presented in Pic. 6.

The main economic methods of management can be substantiated based on the following relevant qualitative features and their dichotomies: «the form of employee participation in the activities of the organisation» (the performance of labour functions and the adoption of managerial decisions), as well as the «type of the subject of management that achieves the goal» (the organisation as a whole and the employees). The combination of these features and dichotomies allows us to substantiate four economic methods of management presented in Pic. 7.

The main socio-psychological methods of management can be substantiated based on the following relevant qualitative features and their dichotomies: «the type of the object of management in the organisation» (a person and a group of people), as well as «priorities of the organisation’s personnel management» (formation of working groups and achievement of the organisation’s goal). Pic. 8 shows a binary

Organisation Type of subject of management, reaching the goal Employee of the organisation	Form of employee participation in activities of the organisation	
	Fulfilment of labour functions	Making managerial decisions
	Management of forms of remuneration	Organisation property ownership
Management of bonus systems	Reward for reduction of lost profits	

Fig. 7. Classification of economic methods of organisation management [developed by the author].

Formation of working groups Priorities of personnel management of the organisation Achievement of organisation's goals	Type of the object of management in the organisation	
	Person	Group of people
	Adaptation of character and manners of behaviour of the individual to the conditions of performance of labour functions	Creation and preservation of the socio-psychological climate in groups
Focus on creation consumers' and performers' values	Maintaining aspiration to meet the needs of the highest level	

Fig. 8. Classification of socio-psychological methods of organisation management [developed by the author].

Tactical Type of the goal to be achieved Strategic	Form of impact on the organisation's personnel	
	Individual	Collective
	Regulation and compliance with the cycle of technological operations	Implementation of a process approach (elimination of cross-functional barriers)
Control of changes in the organisation	Management of sustainability and sustainable development of the organisation	

Fig. 9. Classification of organisational methods of organisation management [developed by the author].

matrix that allows identifying four options for socio-psychological management methods.

The main organisational management methods can be substantiated on the basis of the following relevant qualitative features and their dichotomies: «the form of impact on the organisation's personnel» (individual and collective), as well as the «type of goal achieved» (tactical and strategic). The joint use of these signs and dichotomies allows us to substantiate four organisational methods of management presented in Pic. 9.

If necessary, each of the methods of managing an organisation can be structured into components, considering the features of this organisation. In addition, in some cases, it is possible to establish priority groups of these methods, as well as rank

these methods depending on the specific management situation. As a result, the prerequisites are formed for implementation of one or another style, or rather, combined styles of managing an organisation to increase its productivity and better serve the end consumers of products and/or services.

The information presented in Pics. 6–9, allows us to establish the relationship between main methods of managing an organisation, as well as the corresponding principles and approaches to managing objects of socio-economic systems (Table 2).

Thus:

(1) Focusing on the main groups of management methods (Pic. 4), the groups of principles and approaches to management can



Relationships of methods, principles, and approaches to managing objects of socio-economic systems [developed by the author]

Methods	Principles	Approaches
Administrative methods	Principles and approaches to organisation management	
Definition and regulation of official powers and use of power	Correspondence of the knowledge, skills, abilities, and competencies of the employee (performer) to the position held	Structural
Distribution and coordination of functions, statement of responsibility	Uniformity of distribution of labor intensity of the organisation's management processes	Directive
Granting resource management rights	Correspondence of powers and resources used for their implementation	Resource
Communications management in scalar circuits	Formalisation of managerial influences and subordination of positions at various levels of management	Social
Economic methods	Principles and approaches to management of efficiency and effectiveness	
Management of forms of remuneration	Correspondence of the labour contribution of performers in achieving the goals of the organisation and the wages they receive	Economic
Organisation property ownership	Rational loading and use of fixed and working capital of the organisation	Pragmatic
Management of bonus systems	Equitable distribution of results obtained by the organisation in an unstable environment	Exclusive
Reward for reduction in lost profits	Search for reserves to improve the organisation's activities and development of recommendations on their use	Entrepreneurial
Socio-psychological methods	Principles and approaches to personnel management	
Adaptation of the character and behaviour of the individual to the conditions of performance of labour functions	Maximising the use of the labor potential of the organisation's employees and achieving a synergistic effect	Adaptive
Creation and preservation of the socio-psychological climate in groups	Exclusion of factors of negative impact on employees and working groups and effective conflict management in the organisation	Corporate
Focus on creation of values of consumers and performers	Formation and development of relationships in the organisation and with contractors	Marketing
Maintaining aspiration to meet the needs of the highest level	Development of the intellectual potential of performers and intangible assets of the organisation	Motivational
Organisational methods	Principles and approaches to management of business processes	
Regulation and compliance with the cycle of technological operations	Maximum capacity utilization, detection and prevention of force majeure situations when fulfilling consumer orders	Optimization
Implementation of a process approach (elimination of cross-functional barriers)	Exclusion of losses of lost profit at the junctions of labour functions of performers and departments of the organisation	Process
Change management in the organisation	Minimization of costs, time and lost profits when adjusting activities and restructuring of the organisation	Situational
Management of sustainability and sustainable development of the organisation	Accounting for economic, environmental and social aspects of sustainable development of the organisation	Strategic

be distinguished regarding: (a) relationships, (b) efficiency and effectiveness, (c) personnel, and (d) business processes.

(2) Each management method is assigned a management principle. Recall that the most well-known principles of organisation management include principles [35–40], the number of which varies from 4 to 14. As follows from Table 2, the proposed principles of organisation management are a two-level structure. At the first level, groups of these principles are presented, and at the second level, management principles. Since each principle is associated with a specific management method, in accordance with the data in Pics. 4 and 6–9 they are related to each other due to relevant qualitative features and their dichotomies. That is, it can be argued that, in contrast to the already known lists of management principles, the principles proposed by the author are formed based on a systematic approach.

(3) Each management method is assigned a management approach. There are also 16 of them, and their joint use: (a) is carried out based on a systematic approach, and (b) is accompanied by clearly formulated links by analogy with the links of management principles.

CONCLUSION

The results obtained, according to the author, are the basis for further research based on unambiguously presented groups of transport organisation management methods, as well as individual management methods, each of which is associated with the principle and approach to management, as well as based on recommendations for formation of an integrated chain management system values, which reduces the possibility of contradictions and conflicts when creating value for end users of products and/or services.

Each method, principle and approach to management described in the article can be assigned an appropriate binary code that allows processing information about the state of management systems of various types and levels using digital tools for management activities in relation to the transport industry. This reduces the likelihood of errors and, thereby, improves the quality of management decisions and reduces time for their implementation.

In the course of further research, it is supposed to clarify the essence and content of the so-called «self-management» systems of the end user of products and/or services provided by transport

organisations; form an approach to monitoring the components of systems of this type; assess the trends in sustainability management and sustainable development of «self-management» systems by the end consumer of products and/or services, taking into account the economic, social and environmental aspects of this type of management; identify the features and mechanism of the formation of the «bullwhip effect» in the value chain management system and develop recommendations for reducing its negative impact on the performance of chains of various types.

REFERENCES

1. IAEA. International Atomic Energy Agency. Implementation of a management system for operating organisations of research reactors, 2013. Vienna International Centre, Vienna, Austria. [Electronic resource]: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1584_web.pdf. Last accessed 08.01.2023.
2. Baron, J. N., Kreps, D. M. Strategic Human Resources: Frameworks for General Managers. New York: John Wiley, 1999, 624 p. ISBN 978-0471072539.
3. Armstrong, M. A handbook of human resource management practice. 10th ed. London and Philadelphia: Kogan Page, 2006, 982 p. ISBN 978-0-7494-6964-1.
4. Chong, L., Ngolob, R. A., Thelma, D., Palaoag, T. D. Human Resource Management (HRM) Practices. *Journal of Advanced Management Science*, 2020, Vol. 8, No. 4, pp. 121–125. [Electronic resource]: <http://www.joams.com/uploadfile/2020/1204/20201204054001158.pdf>. Last accessed 09.01.2023.
5. Nicolescu, O. Methods and Techniques Specific to Human Resource Management. *Review of International Comparative Management*, 2009, Vol. 10, Iss. 1, pp. 5–18. [Electronic resource]: https://rmci.ase.ro/no10vol1/Vol10_No1_Article1.pdf. Last accessed 09.01.2023.
6. Huselid, M. A. The Impact of Human Resource Management Practices on Turnover, Productivity and Corporate Financial Performance. *Academy of Management Journal*, 1995, Vol. 38, No. 3, pp. 635–672. DOI: 10.5465/256741.
7. Orpen, C. The effects of formal mentoring on employee work motivation, organisational commitment and job performance. *The Learning Organisation*, 1997, Vol. 4, No. 2, pp. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1108/09696479710160906>.
8. Den, H. D. N., Verburg, R. M. High performance work systems, organisational culture and firm performance. *Human Resource Management Journal*, 2004, No. 14, pp. 55–78. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-8583.2004.tb00112.x>.
9. Frye, M. B. Equity-based compensation for employees: Firm performance and determinants. *Journal of Financial Research*, 2004, Vol. 27, No. 1, pp. 31–54. DOI: 10.1111/j.1475-6803.2004.00076.x.
10. Janod, V., Saint-Martin, A. Measuring the Impact of Work Reorganisation on Firm Performance: Evidence from French Manufacturing, 1995–1999. *Labour Economics*, 2004, Vol. 11, No. 6, pp. 785–798. DOI: 10.1016/j.labeco.2004.04.001.
11. Horgan, J., Mohalu, P. Human resource systems and employee performance in Ireland and the Netherlands: a test of the complementarity hypothesis. *International Journal of Human Resource Management*, 2006, Vol. 17, No. 3, pp. 414–439. DOI: 10.1080/09585190500521409.
12. Bashir, S., Khattak, H. R. Impact of selected HR practices on perceived employee performance, a study of Public Sector



- Employees in Pakistan. *European Journal of Social Sciences*, 2008, Vol. 5, No. 4, pp. 243–252. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/287100352_Impact_of_selected_HR_practices_on_perceived_employee_performance_a_study_of_public_sector_employees_in_Pakistan. Last accessed 09.01.2023.
13. Aguinis, H., Joo, H., Gottfredson, R. K. What monetary rewards can and cannot do: How to show employees the money? *Business Horizons*, 2013, Vol. 56, No. 2, pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.bushor.2012.11.007.
14. Fahim, M. G. A. Strategic human resource management and public employee retention. *Review of Economics and Political Science*, 2018, Vol. 3, No. 2, pp. 20–39. DOI: 10.1108/REPS-07-2018-002.
15. Ulrich, D. Human Resource Champions. Boston: Harvard Business School Press, 1997, 304 p. ISBN-13 978-0875847191.
16. Capelli, P., Neumark, D. Do «high-performance» work practices improve establishment level outcomes? *Industrial and Labor Relations Review*, 1999, Vol. 54, No. 4, pp. 737–775. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/5195348_Do_High_Performance_Work_Practices_Improve_Establishment-Level_Outcomes/link/55c37f2a08acca747d5fa6fb/download. Last accessed 09.01.2023.
17. Guest, D. Human resource management and performance: still searching for some answers. *Human Resource Management Journal*, 2011, Vol. 21, No. 1, pp. 3–13. DOI: 10.1111/j.1748-8583.2010.00164.x.
18. Gutterman, A. S. Managing Sustainability, New York: Routledge, 2020, 192 p. ISBN 9780367518547.
19. Alshammari, A. A. The Impact of Human Resource Management Practices, Organisational Learning, Organisational Culture and Knowledge Management Capabilities on Organisational Performance in Saudi Organisations: A Conceptual Framework. *Revista Argentina de Clínica Psicológica*, 2020, Vol. XXIX, No. 4, pp. 714–721. DOI: 10.24205/03276716.2020.876.
20. Purcell, J. The challenge of human resource management for industrial relations research and practice. *The International Journal of Human Resource Management*, 1993, Vol. 4, No. 3, pp. 511–527. DOI: 10.1080/09585199300000034.
21. Guest, D. E. Human resource management and performance: a review and research agenda. *International Journal of Human Resource Management*, 1997, Vol. 8, No. 3, pp. 263–276. DOI: 10.1080/095851997341630.
22. Boselie, P., Dietz, G., Boon, C. Commonalities and contradictions in HRM and performance research. *Human Resource Management Journal*, 2005, Vol. 36, No. 1, pp. 39–47. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/261215048_boselie_dietz_boon_2005_hrmj. Last accessed 09.01.2023.
23. Dessler, G. Human Resource Management. 11th ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2007, 401 p. ISBN 9780131976061.
24. Foss, N. J., Laursen, K., Pedersen, T. Linking Customer Interaction and Innovation: The Mediating Role of New Organisational Practices. *Organisation Science*, 2011, Vol. 22, No. 4, pp. 980–999. DOI: 10.2307/20868907.
25. Laursen, K., Foss, N. J. Human Resource Management Practices and innovation. *SSRN Electronic Journal*. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/256035118_Human_Resource_Management_Practices_and_Innovation/link/5a1e87870f7e9b9d5eff4e8/download. Last accessed 09.01.2023.
26. Alusa, K., Kariuk, A. Human Resource Management Practices, Employee Outcome and Performance of Coffee Research Foundation, Kenya. *European Journal of Business and Management*, 2015, Vol. 7, No. 3, pp. 72–79. [Electronic resource]: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/EJBM/article/view/19502>. Last accessed 09.01.2023.
27. Sepahvand, R., Khodashahri, R. B. Strategic Human Resource Management Practices and Employee Retention: A Study of the Moderating Role of Job Engagement. *Iranian Journal of Management Studies*, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 437–468. DOI: 10.22059/IJMS.2020.291391.673843.
28. Yao, T., Qiu, Q., Wei, Y. Retaining hotel employees as internal customers: Effect of organisational commitment on attitudinal and behavioral loyalty of employees. *International Journal of Hospitality Management*, 2019, No. 76, pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.03.018.
29. Tyapukhin, A. P. Logistics. Supply chain management [Logistika. Upravlenie tsepyami postavok]. Moscow, KnoRus publ., 2018, 454 c. ISBN 978-5-9916-1788-8.
30. Bailey, K. D. Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques. London: Sage Publications, Inc., 1994, 90 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.4135/9781412986397>.
31. Creswell, J. W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. USA: SAGE Publications, Inc., 2014, 273 p. ISBN 978-1-4129-6556-9.
32. Hameed, H. Quantitative and qualitative research methods: Considerations and issues in qualitative research. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/342491265_Quantitative_and_qualitative_research_methods_Considerations_and_issues_in_qualitative_research/link/5ef6c13b92851c52d60064b5/download. Last accessed 09.01.2023.
33. Strauss, A. L., Corbin, J. M. Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques, 1st ed. Newbury Park: SAGE Publications, 1991, 270 p. ISBN-13 978-0803932517.
34. Dolan, S. L., Richley, B. A. Management by values (MBV): a new philosophy for a new economic order. *Handbook of Business Strategy*, 2006, Vol. 7, Iss. 1, pp. 235–238. DOI: 10.1108/10775730610618873.
35. Deming, W. E. Out of the crisis. Cambridge, MA: Massachusetts Institute for Technology Press, 1982, 507 p. ISBN 9780262541152.
36. Drucker, P. The practice of management. New York: Harper & Row, 1954, 416 p. ISBN 9780062005441.
37. Fayol, H. General and Industrial Management. Paris, Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1916, 142 p. ISBN-13 978-0879421786. [Electronic resource]: <https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/1931/files/2016/09/Fayol-1916.pdf>. Last accessed 09.01.2023.
38. Liker, J. K. The Toyota way: 14 Management principles from the world's greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004, 350 p. ISBN 9780071392310.
39. Taylor, F. W. The principles of Scientific Management. New York, London, Harper and Brothers Publishers, 1919, 144 p. [Electronic resource]: [https://strategy.sjsu.edu/www.stable/pdf/Taylor,%20F.%20W.%20\(1911\).%20New%20York,%20Harper%20&%20Brothers.pdf](https://strategy.sjsu.edu/www.stable/pdf/Taylor,%20F.%20W.%20(1911).%20New%20York,%20Harper%20&%20Brothers.pdf). Last accessed 09.01.2023.
40. Urwick, L. F. The Elements of Administration. New York, Harpen and Row, 1943, 132 p. DOI: <https://doi.org/10.2307/1948847>.

Information about the author:

Tyapukhin, Alexey 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 09.01.2023, approved 27.02.2023, accepted 03.03.2023.



Simulation Model for Airport Disruption Management



Vasily E. Zhukov

St. Petersburg State University of Civil Aviation (SPbGUGA), St. Petersburg, Russia.

✉ vasizhukov@yandex.ru.

Vasily E. ZHUKOV

ABSTRACT

Ensuring the regularity of flights is one of the key tasks of the airline. Three main components of effective functioning of the air transport system comprise ensuring flight safety, regularity and high quality of the services provided, that is, the service component of the air transportation process.

At the same time, it is worth paying attention to the fact that regularity or punctuality of flights is the basis for ensuring safety, the rhythmic implementation of the daily plan allows strictly adhering to the standards for timely maintenance and preventive inspections of aircraft. And flights operated with significant delays nullify all the efforts of air carriers to show a high level of service on board and when servicing passengers at airports. Violation of regularity of flights implies airline's losses and significant reputational damage. The traditional reasons for flight delays are unfavourable weather

conditions, technical reasons, late arrival of the aircraft. But the indicator of delays in departures and arrivals of flights of some Russian air companies increases from time to time due to the congestion of airports, the congestion of airport waiting areas, disruptions in the rhythm of the execution of the daily planning.

Every flight delay creates a disruption. The issue of disruption management has always been a topic for scientific discussions and research. The object of research presented in the article is to study the model of managing an airport disruption, the task was to study options for decision-making in the form of a queue of aircraft for departure and analyse the results of these decisions, where the objective function will be to minimise losses from delay.

For decision-making, it is proposed to use a simulation model of a conditional disruptive situation.

Keywords: *air transport, airport, flight regularity, disruption, airline losses, simulation model.*

For citation: Zhukov, V. E. Simulation Model for Airport Disruption Management. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 205–212. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-8>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

The regularity of flights for each airline is a key indicator for evaluating its performance. If we adhere to international standards for assessing regularity (punctuality), then a flight that is fifteen minutes late upon arrival or departure will be considered delayed. Then, according to the OAG (Official Aviation Guide), the punctuality of Russian airlines' flights is from 53 to 72 %¹. In 2019, OAG named the most punctual airports and airlines. «Tokyo Haneda has become the leader in punctuality among major airports that serve more than 30 million departing passengers per year. It is followed by Atlanta Airport (USA); Changi Airport (Singapore); Denver Airport (USA); Los Angeles Airport (USA).

In the main airports category (20–30 million departing passengers per year), Moscow Sheremetyevo Airport was ranked first. The most punctual small airport (2,5–5 million flights per year) was the air transport hub of Minsk.

Top 10 most punctual airlines in the world were Copa Airlines (Panama); airBaltic (Latvia); Hong Kong Airlines (China); Hawaiian Airlines (USA); Bangkok Airways (Thailand); Qantas Airways (Australia); LATAM Airlines (Chile); Azul (Brazil); Qatar Airways (Qatar); KLM (Netherlands).

Of the Russian air carriers, S7 company was included in the ranking of the most punctual mainline airlines (18th place) and the most punctual carriers in Europe (sixth place)².

Besides studying the statistics of regularity of flights, an important area of research is management of the process of resolving a disruptive situation at the airport. Information systems with nested algorithms for solving the problem of disruption in regularity, artificial intelligence in managing the flow of passengers and flights will not be able to replace the experience, intuition and skills invested in the «live» mind of an experienced operator for a long time to come. It is only necessary to create an environment for decision-making, to predict, which is very important, the economic effect. The simulation model does not offer an optimal solution but helps to better understand validity of management decisions.

The object of study describe in the article is the process of choosing a solution to manage

¹ Russian Airlines had lost punctuality by the end 2021 [Rossiyskie aviakompanii k kotsu 2021 goda rasteriali punktualnost']. [Electronic resource]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/01/13/904695-aviakompanii-rasteriali-punktualnost>. Last accessed 13.01.2023.

² OAG Aviation Worldwide ranked the most punctual airlines and airports in the world. [Electronic resource]: <https://www.aex.ru/news/2019/1/6/192271/>. Last accessed 13.01.2023.

a disruption, which consists in the fact that the researcher is invited to build a queue for departure from flights delayed at the airport with minimisation of airline losses associated with disruption of flight regularity.

The *objective* is to study the model of managing a disruptive situation. The task is to study options for decisions in the form of a queue of aircraft for departure and analyse the results of these decisions, where the objective function will be to minimise losses from delay.

RESULTS

Approaches to the Study of the Research Problem

«For the cost-effective functioning of an airline in a competitive environment, one of the most important factors is the problem of regularity of flights. Failure to meet the deadlines for departure and arrival of flights implies additional costs for carrier associated with penalties paid to passengers, consignees, and consignors, as well as to airports if flight delays occur through the fault of the airline, which is usually associated with management errors. Regularity of flights of civil aviation aircraft includes the concept of regularity of departures of aircraft and regularity of flights. Regularity of flights characterises the work of civil aviation enterprises in delivery of passengers, baggage, and cargo in accordance with the contract for transportation. Regularity of flights is the ratio of the number of flights performed without delay to the total number of flights, expressed as a percentage. This is one of the most important indicators of quality of functioning of air transport enterprises» [1]. The above quote from an article by a young researcher D. A. Naumova is relevant for all times of the commercial use of air transport. Apparently, only the conservatism of the approach to determining the regularity of flights determines the fact that until December 2020, the main document intended for determining and calculating the regularity of flights was a document entitled «Guidelines for ensuring and accounting for regularity of flights of civil aviation aircraft of the USSR», approved by order of the MCA dated January 10, 1990, No. 6³, which was cancelled by Order of the Ministry of Transport of Russia dated December 4, 2020, No. 541

³ Order of the Ministry of Civil Aviation of the USSR dated January 10, 1990, No. 6 «On approval and implementation of the Guidelines for ensuring and accounting for regularity of flights of civil aviation aircraft» (the document has ceased to be valid). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/70198590/>. Last accessed 13.01.2023.

«On recognition of certain acts of the USSR, their individual provisions, as well as letters, instructions and instructions issued by central authorities of state administration of the USSR as invalid on the territory of the Russian Federation, and as invalidated some acts of the RSFSR, their individual provisions, as well as letters, instructions and directives issued by the central bodies of state administration of the RSFSR, in the field of transport»⁴.

An information appeared in some open sources that: «The Ministry of Transport has begun to develop new standards for accounting for regularity of flights. They should replace the rules that have been in force since the times of the USSR, [newspaper] *Izvestia* was told in the department. In particular, it is proposed to detail the reasons for flight delays and clearly indicate the culprit – the airport, airline or ground handling operator. This will allow identifying bottlenecks in the work of these structures and increase the punctuality of carriers – passengers will not have to sit at airports for hours waiting for a flight, experts say. But it will not be easy for market participants to agree on a single methodology»⁵. At present, flight delays are entirely the responsibility of the air carrier, although many of the problems with ensuring the timely departure of a flight or ensuring its arrival are created by airport operators. It is precisely for this reason that there are a huge number of projects and even local regulations to ensure and calculate the regularity of aircraft flights. The Ministry of Transport received drafts of regulatory documents from the Airport Association, and the main operators of Sheremetyevo and Domodedovo airports. Local documents that consider the regularity of flights have different names, for example, for Domodedovo Airport,

the Domodedovo Airport User Guide⁶ has been developed, which has a section on accounting for punctuality of flights. However, even the definition of «punctuality of flights» is absent therein. The «Guidelines for ensuring and accounting for regularity of flights of civil aviation aircraft of the USSR (RRP GA-90)» details the concept of «flight regularity». «Regularity of flights of civil aviation includes the concept of regularity of departures of aircraft and regularity of flights. Regularity of flights characterises the work of civil aviation enterprises and departments and the industry as a whole in delivery of passengers, baggage and cargo in accordance with the contract for transportation»³. The definition emphasises the social significance of the process of performing flights by civil aviation aircraft. Probably, the lack of a single approach to regulating flight departure delays and determining the responsibility of a specific person responsible for this delay leads to a loose interpretation of significance of failures in regular flight operations resulting in information that flight delays and cancellations are beneficial to airlines⁷. Especially if the flight is operated with a load less than planned, then the flight can be cancelled or combined with another flight with the same low load. As a result, the airline will save on refuelling, airport taxes and ground handling. In fairness, it must be said that on the contrary a missed flight will incur losses from the uncovered fixed costs of the airline, the largest of which is the lease payment. It is possible to perform a simple calculation of the amount of such losses: the cost of leasing an A-320 aircraft is approximately estimated at 350–380 thousand dollars per month. If there are 720 hours in a month, then the cost of leasing is 527,77 dollars per hour, or about 37000 rubles at an exchange rate at the moment of writing the article. The daily flight time on an aircraft, in leading airlines, is 12 hours, that is, the airline already, according to the plan, incurs losses from leasing in the amount of 444000 rubles per day.

⁴ Order of the Ministry of Transport of Russia dated December 4, 2020, No. 541 «On recognition of certain acts of the USSR, their individual provisions, as well as letters, instructions and instructions issued by central authorities of state administration of the USSR as invalid on the territory of the Russian Federation, and as invalidated certain acts of the RSFSR, their individual provisions, as well as letters, instructions and instructions issued by the central bodies of state administration of the RSFSR, in the field of transport». [Electronic resource]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375322/. Last accessed 13.01.2023.

⁵ Volobuev, A., Tsyruleva, I. This is a flight: airlines will be prescribed punctuality. The Ministry of Transport is preparing a new method for accounting for flight delays. *Izvestia*, 22 April 2019. [Electronic resource]: <https://iz.ru/870098/aleksandr-volobuev-irina-tsyruleva/eto-zalet-aviakompaniiam-propishut-punktualnost>. Last accessed 13.01.2023.

⁶ Domodedovo Airport User Guide (version 25). [Electronic resource]: [https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20\(версия%2025\).pdf](https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20(версия%2025).pdf). Last accessed 13.01.2023.

⁷ Volobuev, A., Tsyruleva, I. Excellent position: who benefits from massive flight delays. *Izvestia* found out how Russian carriers make money on bad weather. *Izvestia*, 1 February 2019. [Electronic resource]: <https://iz.ru/840013/aleksandr-volobuev-irina-tsyruleva/otmennaiia-pozitciia-komuygodny-massovye-zaderzhki-aviareisov>. Last accessed 13.01.2023.



And the cancellation of the flight and the subsequent return of the flight to the daily flight plan will take at least eight hours, then the losses will increase to 740000 rubles. So, the cost savings on refuelling will be exactly reduced to zero. Without going into details of calculating the required amount of fuel for a two-hour flight of an A-320 aircraft, it can be calculated that with a fuel consumption of 3,2 tons per flight hour and considering the fuel reserve, about ten tons of aviation kerosene will be needed to go to a nearby alternate airfield. The average cost of a ton of kerosene according to FAVT (Federal Air Transport Agency) is 67173 rubles⁸. Consequently, the cost of refuelling will amount to at least 671730 rubles. That is, the amount of fixed costs not covered by the flight performance is even greater than the sum of variable costs for refuelling the aircraft.

In this regard, it is rather difficult to say what is more beneficial for the airline – cancellation of a delayed flight or its operation after the delay time has passed.

According to European experts, the cost of restoring the schedule after a disruption in 2010 amounted to 1,25 billion euros, about 81 euros per minute of delay [2]. Which costs will be more: uncovered fixed costs or variable costs during the flight? As a first approximation, the specific component of variable costs is approximately 72 % of the amount of operating costs, fixed costs in their composition constitute, respectively, 28 %. But mentioned 72 % of the costs are spent during flights, that is, 12 hours a day, and 28 % are spent around the clock. As already noted, when a flight is delayed, operating costs that do not pay off bring losses. But there is the second component of losses in case of flight delays – these are additional expenses for payment of compensation to passengers, expenses for food and drinks for passengers, hotel accommodation, transfers, expenses for transferring passengers to flights of other airlines with an interrupted flight manifest. In 2007, direct operating costs associated with schedule delays in the US market were estimated by US experts to be about 8 billion dollars. The cost of delays for passengers was estimated by the same authors at four billion dollars a year [3].

⁸ Federal Air Transport Agency. Rosaviation. Prices for avia fuel in 2022. [Electronic resource]: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-ceny-na-aviagsm/?id=8788>. Last accessed 13.01.2023.

The most difficult is the issue of managing a disruption, especially in case of massive flight delays. Scientific research on this issue is dedicated not only to management of delays caused by force majeure, but also to systemic issues of airport development. The intensification of their activity results in more and more situations that lead to a violation of punctuality of flights.

An increase in intensity of air traffic leads to a delay of aircraft in the landing waiting area. The intensity of air traffic at the airports of large metropolitan areas leads to the fact that 60–65 take-off and landing operations per hour becomes an insufficient rate and, naturally, any one-minute delay in landing or taking off an aircraft leads to a malfunction and formation of a queue for departure. And the delay is followed by extra fuel costs and an impact on the image of an airline.

A serious problem that limits the rhythm of the airport is the take-off and landing speed of different types of aircraft. Aircraft with slower rates of climb or descent increase the time interval for the aircraft to stay on the runway. This problem is analysed in detail in [4]. The creation of buffer, excess time for schedule alignment is explored in [5].

Other studies are looking at the more common causes of flight delays. The work [6] examined several causes determining flight delays at Newark International Airport (EWR) using an integrated approach. The results show that adverse weather conditions, low ceilings (lower edge of the clouds) and poor visibility greatly affect flight delays. Similarly, the work [7] explored the main causal factors for flight delays by ranking various factors using an analytical hierarchy process. The authors found that technical disruption and data entry delay were two most influential factors. Based on the identification of causal factors, further studies examined the quantitative impact of each factor on flight delay. Analysing the characteristics of flight departure and arrival delays by plotting probability density functions, Muller [*et al*] [8] investigated several causative factors for delays such as transportation volume, aircraft type, aircraft maintenance, airline operations, weather conditions, changes in procedures during the flight, capacity limitations, customer service issues, and late arrival of an aircraft or of a crew. Another article by Shaowu Chen, Yaning Zhang and others entitled «Study of Flight Departure

Table 1

Causes and duration of delays (%) (compiled based on [10])

Cause of delay / Duration	Less than 15 minutes	0:15–0:30	0:31–1:00	1:01–2:00	More than 2:00
Not categorised delay (different causes)	32,61	5,98	2,99	2,77	2,38
Airline operational causes	2,20	4,36	4,76	4,76	2,79
Delay due to passengers and their luggage	2,97	3,46	1,68	0,81	0,55
Delay caused during maintenance of the aircraft by suppliers (loading and unloading, fuel, catering)	2,44	2,83	0,95	0,53	0,20
Delay caused by maintenance or aircraft defect	1,85	3,98	5,08	6,72	12,83
Delay caused by operational control and crew duty regulations	3,24	4,43	2,96	2,46	2,00
Delay caused by air traffic control	12,76	15,24	8,58	4,60	2,50
Delay caused by airport constraints	10,81	6,09	2,06	1,02	0,67
Delay caused by previous flight delay	31,12	53,64	70,94	76,41	76,08

Delay and Causal Factor Using Spatial Analysis» used several methodological approaches («Several approaches have been used to analyse the factors that affect flight arrival and departure delay»). The results show that the weather contributed to 69 % of delays [9].

However, it is worth noting the fact that when studying the causes of flight delays, conflicting statistics were formed among studies in the US and Europe. European research shows that the largest time delays are delays associated with late arrival of aircraft, that is, with a violation of the traffic schedule (Table 1).

In the USA, the main cause is associated with «weather conditions» that provoke the disruption of operations of already overloaded airports. In addition, the main cause for flight delays that is mentioned for the United States is poor planning of the airport operations that is without considering the actual traffic capacity (Pic. 1).

Proposals for Implementation of a Method for Managing a Disruption

Methods for managing a disruptive situation are considered in a number of scientific and practical developments for managing resources in a disruptive situation. So, for example, in the study [12] the objective function is the total delay time, which tends to a minimum. The optimal distribution of organisational resources is the essence of solving this problem. Options for studying the components of losses and their magnitude have not been studied in the work.

In this paper, it is proposed to consider a simulation model, based on which it is possible to study the costs of an airline in case of a flight delay and the decision-making algorithm for managing a disruption associated

with a massive flight delay at the airport. The simulation is based on a disruption associated with the delay of 13 flights. Under the terms of the study, the delay began at 18:00 on the first day and started to be resolved from 03:00 on the next day. The researcher will have to build a queue for departure starting at 03:00 with an interval of 30 minutes. Table 2 shows the daily flight plan for the current day and the beginning of the next day. The schedule presented in the table is hypothetical, since the described situation models a learning task for developing decision-making skills during a disruptive situation and skills to evaluate the decisions made. There may be several options for building a queue for departure. First, it can take the form of a conventional queuing system «first in – first out», that is, following the traffic schedule laid down in the daily plan. The second option is «last in – first out» to minimise the delay time for those flights that are closer to the time when the airport opens for departure. The third option is to minimise the airline's losses from the delay. The model includes losses from aircraft downtime per hour of downtime. Therefore, the larger is the aircraft, the greater is the loss from fixed costs. The next group of losses is the cost of serving delayed passengers – the cost of food after four hours of delay, of hotel accommodation after six hours of delay. Let us assume that the compensation to passengers of 0,25 minimum wage per each hour of delay is 25 rubles. The amount of the minimum wage is calculated based on the Federal Law («The calculation of payments for civil obligations established depending on the minimum wage is made from July 1, 2000 to December 31, 2000, based on the basic amount equal to 83 rubles 49



Initial conditions for solving the problem of managing a disruption [performed by the author]

Delayed flights						
No of flight	Destination	Departure time scheduled		Aircraft type	Number of passengers	Expenses per aircraft type
		Hours	Minutes			
711	Kozelsk	18	0	AN24	32	980
712	Moscow-DME	18	30	A319	104	31387
713	Yekaterinburg	19	0	A320	80	36729
714	Chelyabinsk	20	0	B735	85	33390
715	Murmansk	20	30	ERJ-170	50	18200
716	Khabarovsk	21	0	B757	110	49418
717	Voronezh	22	0	B738	80	38000
718	Samara	22	30	ERJ-170	45	18200
719	Krasnoyarsk	23	0	B739	150	39000
720	Novosibirsk	23	30	B767	105	48000
721	Tyumen	0	30	B735	90	33390
722	Kaliningrad	1	30	A320	120	36729
723	Volgograd	2	30	F50	40	13356
Scheduled flights						
772	Moscow-VKO	6	30	B735	100	33390
773	Yakutsk	7	0	B757	90	49418
774	Ufa	7	30	B738	110	38000
775	Krasnodar	8	0	A320	90	36729
776	Sochi	8	30	B738	104	38000
777	Anapa	9	0	ERJ-170	68	18200

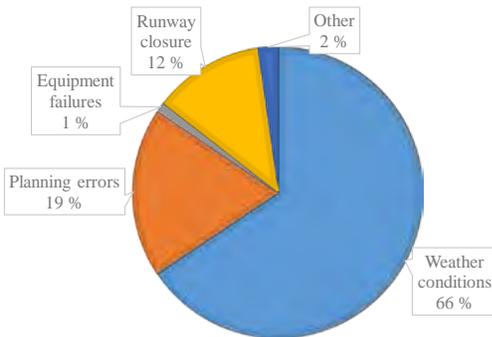


Fig. 1. Flight delays causes [11].

kopecs, from January 1, 2001 based on basic amount equal to 100 rubles»⁹).

The model is made in the form of a e-spreadsheet, in which each decision is calculated and estimated by the amount of losses, which allows checking the cost of decisions made, comparing the results, and choosing a possible variant of the order of departure of flights.

Table 2 shows that in the morning of the next day, regular flights depart from 06:30, but not all delayed flights of the previous day have departed during these hours. The researcher has yet to solve the problem of what to do with the

⁹ Federal Law No. 82-FZ of June 19, 2000 (as amended on December 19, 2022) «On the minimum wage». Article 5. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27572/5bdc78bf7e3015a0ea0c0ea5bef708a6c79e2f0a/#dst100019. Last accessed 13.01.2023.

departure of these flights. If they are delayed, there will be new losses already from the delay of these flights. But on the other hand, the release of scheduled flights will increase the delay of flights of the previous day. The researcher can get a result in the form of an estimate of losses in cases of departure of flights of the current day according to the schedule, their delay and departure of flights of the previous day or alternation of flight departure – a flight of the current day, a flight of the past day.

The total amount of losses is determined by the formula:

$$L = DAC_{(t)} + CF_{(t)} + CH_{(t)} + CPD_{(t)}, \quad (1)$$

where L – the amount of losses regarding the delayed flight;

DAC – losses from aircraft downtime;

CF – the cost of food for passengers;

CH – the cost of accommodation of passengers in a hotel;

CPD – compensation to passengers for a flight delay.

As can be seen from formula 1, all components of losses depend on time.

In this case $T_{(DAC)} = Td$; $T_{(CF)} = Td - 4$; $T_{(CH)} = Td - 6$; $T_{(CPD)} = Td$, where Td – delay time (in hours) and then

$$Td = Ta - Ts, \quad (2)$$

where Ta – actual departure time of the aircraft;

Ts – scheduled departure time of the aircraft.

Daily plan												
Destination	Scheduled departure time		Actual departure time		Delay time		Number of passengers	Expenses per passengers			Expenses per aircraft	Penalties
	Hours	Minutes	Hours	Minutes	Hours	Minutes		food	accommodation	compensation		
Kozelsk	18	0	3	0	9	0	32	7040	64000	7200	8820	0
Moscow-DME	18	30	3	30	9	0	104	22880	208000	23400	282483	0
Yekaterinburg	19	0	4	0	9	0	80	17600	160000	18000	330561	0
Chelyabinsk	20	0	4	30	8	30	85	18700	170000	18062,5	283815	0
Murmansk	20	30	5	0	8	30	50	11000	100000	10625	154700	0
Khabarovsk	21	0	5	30	8	30	110	24200	220000	23375	420053	0
Voronezh	22	0	6	0	8	0	80	17600	160000	16000	304000	0
Samara	22	30	9	30	11	0	45	9900	90000	12375	200200	0
Krasnoyarsk	23	0	10	0	11	0	150	33000	300000	41250	429000	0
Novosibirsk	23	30	10	30	11	0	105	23100	210000	28875	528000	0
Tyumen	0	30	11	0	10	30	90	19800	180000	23625	350595	0
Kaliningrad	1	30	11	30	10	0	120	26400	240000	30000	367290	0
Volgograd	2	30	12	0	9	30	40	8800	80000	9500	126882	0
Moscow-VKO	6	30	6	30	0	0	100	0	0	0	0	0
Yakutsk	7	0	7	0	0	0	90	0	0	0	0	0
Ufa	7	30	7	30	0	0	110	0	0	0	0	0
Krasnodar	8	0	8	0	0	0	90	0	0	0	0	0
Sochi	8	30	8	30	0	0	104	0	0	0	0	0
Anapa	9	0	9	0	0	0	68	0	0	0	0	0
								240020	2182000	262287,5	3786399	0

Total expenses 6 470 707 rubles.

Pic. 2. Departure queue according to the algorithm «first in – first out» [performed by the author].

Daily plan												
Destination	Scheduled departure time		Actual departure time		Delay time		Number of passengers	Expenses per passengers			Expenses per aircraft	
	Hours	Minutes	Hours	Minutes	Hours	Minutes		food	accommodation	compensation		
Volgograd	2	30	3	0	0	30	40	0	0	500	6678	
Kaliningrad	1	30	3	30	2	0	120	0	0	6000	73458	
Tyumen	0	30	4	0	3	30	90	0	0	7875	116865	
Novosibirsk	23	30	4	30	5	0	105	23100	0	13125	240000	
Krasnoyarsk	23	0	5	0	6	0	150	33000	0	22500	234000	
Samara	22	30	5	30	7	0	45	9900	90000	7875	127400	
Voronezh	22	0	6	0	8	0	80	17600	160000	16000	304000	
Khabarovsk	21	0	9	30	12	30	110	24200	220000	34375	617725	
Murmansk	20	30	10	0	13	30	50	11000	100000	16875	245700	
Chelyabinsk	20	0	10	30	14	30	85	18700	170000	30812,5	484155	
Yekaterinburg	19	0	11	0	16	0	80	17600	160000	32000	587664	
Moscow-DME	18	30	11	30	17	0	104	22880	208000	44200	533579	
Kozelsk	18	0	12	0	18	0	32	7040	64000	14400	17640	
Moscow-VKO	6	30	6	30	0	0	100	0	0	0	0	
Yakutsk	7	0	7	0	0	0	90	0	0	0	0	
Ufa	7	30	7	30	0	0	110	0	0	0	0	
Krasnodar	8	0	8	0	0	0	90	0	0	0	0	
Sochi	8	30	8	30	0	0	104	0	0	0	0	
Anapa	9	0	9	0	0	0	68	0	0	0	0	
								185020	1172000	246537,5	3588864	

Total expenses 5 192 422 rubles.

Pic. 3. Departure queue according to the algorithm «last in – first out» [performed by the author].

Daily plan												
Destination	Scheduled departure time		Actual departure time		Delay time		Number of passengers	Expenses per passengers			Expenses per aircraft	
	Hours	Minutes	Hours	Minutes	Hours	Minutes		food	accommodation	compensation		
Khabarovsk	21	0	3	0	6	0	110	24200	0	16500	296508	
Novosibirsk	23	30	3	30	4	0	105	0	0	10500	192000	
Krasnoyarsk	23	0	4	0	5	0	150	33000	0	18750	195000	
Kaliningrad	1	30	4	30	3	0	120	0	0	9000	110187	
Moscow-DME	18	30	5	0	10	30	104	22880	208000	27300	329563,5	
Voronezh	22	0	5	30	7	30	80	17600	160000	15000	285000	
Tyumen	0	30	6	0	5	30	90	19800	0	12375	183645	
Yekaterinburg	19	0	9	30	14	30	80	17600	160000	29000	532570,5	
Chelyabinsk	20	0	10	0	14	0	85	18700	170000	29750	467460	
Murmansk	20	30	10	30	14	0	50	11000	100000	17500	254800	
Samara	22	30	11	0	12	30	45	9900	90000	14062,5	227500	
Volgograd	2	30	11	30	9	0	40	8800	80000	9000	120204	
Kozelsk	18	0	12	0	18	0	32	7040	64000	14400	17640	
Moscow-VKO	6	30	6	30	0	0	100	0	0	0	0	
Yakutsk	7	0	7	0	0	0	90	0	0	0	0	
Ufa	7	30	7	30	0	0	110	0	0	0	0	
Krasnodar	8	0	8	0	0	0	90	0	0	0	0	
Sochi	8	30	8	30	0	0	104	0	0	0	0	
Anapa	9	0	9	0	0	0	68	0	0	0	0	
								190520	1032000	223137,5	3212078	

Total expenses 4 657 736 rubles.

Pic. 4. Departure queue minimizing delay losses [performed by the author].



Next, we consider the results of building a queue for departure according to the condition «last in – first out» and a variant in which the queue for departure will be built with the condition of minimizing losses from delay.

Options for building a queue for departure in Pics. 2 and 3 do not establish an additional condition $L = F(t) \rightarrow \min$. The queue option in Pic. 4 sets this condition. The task of the researcher is to offer several options for arranging flights and choose the least unprofitable among them.

CONCLUSIONS

The given examples show that the use of the model allows simulating the process of managing a disruptive situation. In addition to the solutions given as an example, it is possible to build other variants of queues for departure of aircraft. The model allows changing the parameters that form the composition and magnitude of delay losses. Examples of queuing show that it is possible to queuing departure flights with the least delay losses. The purpose of the model is to show the possibilities of simulation modelling for solving operation problems associated with making managerial decisions. The model can be used for training air transport system specialists and as the basis for a corporate information system module.

REFERENCES

1. Naumova, D. A. Methodology for assessing the regularity of airline flights [*Metodiki otsenki regulyarnosti poletov aviaakompanii*]. *Nauchnyy vestnik MGTU GA* 2012, 4 p. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-otsenki-regulyarnosti-poletov-aviakompaniy/viewer>. Last accessed 13.01.2023.
2. Ionescu, L., Gwiggner, C., Kliwer, N. Data Analysis of Delays in Airline Networks. *Development of Business and Information Systems*, April 2016, Vol. 58 (2), pp. 119–133. DOI: 10.1007/s12599-015-0391-3. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/284725513_Data_Analysis_of_Delays_in_Airline_Networks. Last accessed 13.01.2023.
3. Santos, B. F., Wormer, M. M. E. C., Achola, Th. A. O., Curran, R. Airline delay management problem with airport capacity constraints and priority decisions. *Journal of Air Transport Management*, 2017, Vol. 63. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/305737266_Airline_delay_management_problem_with_airport_capacity_constraints_and_priority_decisions. Last accessed 13.01.2023.
4. Bubalo, B. Airport Punctuality, Congestion and Delay: The Scope for Benchmarking. German Airport Performance

(GAP) Project c/o Berlin School of Economics and Law, Berlin, Germany, 2011. [Electronic resource]: http://www.gaprojekt.de/downloads/gap_papers/airportpunctuality.pdf. Last accessed 13.01.2023.

5. Hajkoa, J., Badánik, B. Airline on-time performance management. 9th International Conference on Air Transport – INAIR 2020, Challenges of Aviation Development. *Transportation Research Procedia*, 2020, Vol. 51 (2), pp. 82–97. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.11.011. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/347360260_Airline_on-time_performance_management. Last accessed 13.01.2023.

6. Allan, S. S., Beesley, J. A., Evans, J. E., Gaddy, S. G. Analysis of Delay Causality at Newark International Airport. Lincoln Laboratory Massachusetts Institute of Technology Lexington, Massachusetts, U.S.A., 2001. [Electronic resource]: https://archive.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Allan_2001_ATM_MS-14812_WW-10283.pdf. Last accessed 13.01.2023.

7. Meysam Kazemi Asfe, Majid Jangi Zehi, Mohammad Nabi Shahiki Tash, Noor Mohammad Yaghoubi. Ranking different factors influencing flight delay. *Management Science Letters*, 2014, Vol. 4 (7), pp. 1397–1400. [Electronic resource]: <http://growingscience.com/beta/msl/1579-ranking-different-factors-influencing-flight-delay.html>. Last accessed 13.01.2023.

8. Mueller, E., Chatterji, G. Analysis of Aircraft Arrival and Departure Delay Characteristics. AIAA's Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO) 2002 Technical Forum, Los Angeles, California, 01–03 October 2002. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2002-5866>. [Electronic resource]: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2002-5866>. Last accessed 13.01.2023.

9. Shaowu Cheng, Yaping Zhang, Siqi Hao, Ruiwei Liu, Xiao Luo, Qian Luo. Study of Flight Departure Delay and Causal Factor Using Spatial Analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, Vol. 2019, Article ID 3525912. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3525912>. [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2019/3525912/>. Last accessed 13.01.2023.

10. Zámková, M., Prokop, M., Stolin, R. Factors influencing flight delays of a european airline. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 2017, Vol. 65, No. 5, pp. 1799–1807. DOI: 10.11118/actaun201765051799/. [Electronic resource]: http://acta.mendelu.cz/artkey/actu-201705-0037_factors-influencing-flight-delays-of-a-european-airline.php. Last accessed 13.01.2023.

11. Vaze, V. Simulating Airport Delays and Implications for Demand Management. December 7, 2009. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/265031415_Simulating_Airport_Delays_and_Implications_for_Demand_Management. Last accessed 13.01.2023.

12. Golovchenko, G. V. Methods of resource-time optimization of the process of operational management of the airport in failure situations. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Metody resursno-vremennoi optimizatsii protsessu operativnogo upravleniya aeroportom v sboinykh situatsiyakh. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk*]. St. Petersburg, 2018. [Electronic resource]: <https://spbbuga.ru/files/2018/Dissovet/Golovchenko/Avtoreferat.pdf>. Last accessed 13.01.2023. ●

Information about the author:

Zhukov, Vasily E., Ph.D. (Eng), Associate Professor at St. Petersburg State University of Civil Aviation (SPbGUGA), St. Petersburg, Russia, vasizhukov@yandex.ru.

Article received 13.01.2023, approved 27.02.2023, accepted 03.03.2023.



Adequacy of the Gravity Model of Railway Passenger Flows



Alexander V. MARTYENKO



Denis Zh. SAIFUTDINOV

*Alexander V. Martynenko*¹,
*Denis Zh. Saifutdinov*²

^{1,2} Ural State University of Railway Transport
(USURT), Yekaterinburg, Russia.

¹ Centre for Development and Allocation of Productive
Forces of the Institute of Economics of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg,
Russia.

✉ ² densssov@yandex.ru.

ABSTRACT

The most accurate modelling of spatial distribution of passenger flows is a prerequisite for successful planning of development of the transport system. It is the basis for calculation of a predictive trip matrix. An approach based on the gravity model is among main modelling methods.

The work investigates the issue of the adequacy of the gravity model with a double constraint and an exponential-power function of gravitation. It is this specification of the model and its particular cases with exponential and power functions of gravitation that are most often used to estimate spatial distribution of passenger flows both in theoretical and applied research.

Calibration and validation of the specified model is shown on the observed (actual) matrix of railway passenger origin-destination matrix. It was built with the help of the data of Express [railway ticketing] ADB ACS: the number of tickets sold for long-distance trains for all the pairs of directly linked stations.

Since calibration of the gravity model can be carried out by different methods (depending on how the model incorporates stochasticity, which is responsible for differences between the modelled and observed data), after a detailed analysis of the most common methods for calibrating the gravity model, the approach was chosen based on the maximum likelihood estimation. The work also analyses the gravity model validation tools used to estimate the proximity between the observed and modelled trip matrices.

Comparison of the modelled and observed trip matrices resulted in the conclusion that the gravity model under consideration predicts several aggregate indicators with a high degree of accuracy: total passenger turnover, average travel distance, and travel distance distribution. At the same time, it is shown that the error in the forecast of passenger flow for most individual origin-destination trips is quite large. This circumstance significantly reduces the possibility of practical application of the gravity model for the analysis and modelling of passenger flows in long-distance railway passenger traffic.

Keywords: gravity model, railway passenger traffic, trip matrix, model calibration, model validation, model adequacy.

Funding: the article was prepared in accordance with the research plan of Ural State University of Railway Transport.

For citation: Martynenko, A. V., Saifutdinov, D. Zh. Adequacy of the Gravity Model of Railway Passenger Flows. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 213–223. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-9>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

In Russia, the overall structure of intercity passenger transportation is dominated by road and railway transport. The main volume of passenger transportation with a length of up to 300 km falls on bus and suburban railway routes. However, long-distance rail traffic plays the main role for trips over distances from 300 to 1000 km (for longer routes, air traffic is of primary importance). It is railway transport that to a large extent ensures connectivity (including social one) of the territory of the Russian Federation and interregional transport accessibility, improvement of which is designated as a priority goal for development of the transport system¹.

A necessary prerequisite for successful planning of development of the transport system is associated with the most accurate modelling of spatial distribution of passenger flows, on the basis of which the forecast trip matrix (TM) is calculated. Two main methods used for modelling are entropy and gravity ones. The former is based on the assumption that the transport system, considered as a system of movement of individuals, is closed and tends to reach an equilibrium state corresponding to the maximum entropy². A detailed presentation of this method can be found, for example, in the monograph [1].

The latter method is based on an analogy with Newton's law of gravity. With this approach, it is assumed that the passenger flow depends on the size of the points of departure and arrival and the distance between them, and that between near and large points, the passenger flow is greater than between small and distant ones. The specific form of such dependence is determined by the modelled system and additional constraints.

The first attempts to use the gravity model to describe spatial distribution of various types of economic and social interaction were made in the 1930s [2], and possibly even earlier [3]. However, this model became widespread in the 1950s [4] and has since been actively used to model transport, trade, financial, migration flows,

etc. (examples of application of gravity model in fields not related to transport along with the relevant references can be found in the article of one of the authors [5]).

In the 1960s and 1970s, the mathematical properties of the gravity model were studied in detail by the efforts of several scientists. In particular, the works [6–9] proposed and rigorously substantiated methods for calibrating the model based on empirical data. A rather complete exposition of these and other theoretical issues is contained in the review article [3] and the monograph [10]. Also, during this period, the application of the gravity model began to predict the spatial distribution of passenger flows in specific cities and territories when developing plans for development of transport infrastructure [11]. However, during those years, the practical use of the gravity model was rather limited, since the collection of empirical data necessary for calibrating the model was carried out through surveys and direct observations. This required the involvement of a large number of traffic checkers and, accordingly, implied significant costs.

The situation concerning availability of data has begun to change since the late 1990s due to development of information technology. The widespread introduction of video surveillance systems on the roads, the use of cashless payments, the emergence of smartphones with geolocation and other similar technologies have made it possible to obtain sufficiently complete and reliable information about transport flows.

As availability of such data has increased, the number of works aimed at testing the adequacy of the gravity model for modelling the spatial distribution of passenger flows for various territories and transport systems has increased significantly. Results of this kind can be found in [12–19] and many other works. In particular, it was shown in [12] that the gravity model quite well describes the spatial distribution of air passenger transportation volume across the countries of Central Europe.

The article [13] used data on daily work trips in six countries to test the adequacy of various modifications of the gravity model. Among other things, this work showed that for such data, the gravity model gives a sufficiently good forecast for small and medium distances, but for large distances, the accuracy of the forecast is significantly reduced. Data on work trips were also used in [14] to assess the possibility of using

¹ Transport Strategy of the Russian Federation till 2030 with a forecast for the period up to 2035. Approved by the order of the Government of the Russian Federation of 27.11.2021 No. 3363-r. (in Russian). [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>. Last accessed 22.12.2022.

² Gasnikov, A. V., Klyonov, S. L., Nurminsky, E. A. [et al]. Introduction to Mathematical Modelling of Transport Flows: Study guide. Ed. by A. V. Gasnikov. Moscow, MFTI publ., 2010, 362 p. ISBN 978-5-7417-0334-2.

a gravity model, calibrated using the data of one region, to predict trips in another region. In [15], the gravity model was validated based on data on carpooling trips made in one of the regions of Russia.

In [16], the gravity model was tested for cargo railway flows between provinces in China. The article [19] contained a similar study regarding passenger transportation by rail. In this work, based on data on the volume of passenger transportation on one of the lines of the Spanish railways, the authors showed that the gravity model approximates the observed data much better than the Poisson regression.

Checking the adequacy of the gravity model for specific transport systems, territories and modes of transport is necessary to justify the legitimacy of using the gravity model to solve applied problems. From a practical point of view, the gravity model is an integral part of the four-step transportation model [1], which is actively used in making managerial decisions on development of transport infrastructure³⁴, and is implemented in all modern transport modelling software (PTV Visum, TransNet, and others).

The gravity model can be used in the four-step model at the second step to calculate the total TM (for all modes of transport), after which, at the third step, for each origin-destination segment, the splitting of passenger traffic per different modes of transport is calculated. Also, the gravity model can be used in the form of a so-called synthetic gravity model for simultaneous calculation of TM and splitting per mode of transport (that is, the second and third steps are combined). In this case, the gravity model is used to calculate TM for each mode of transport separately. Accordingly, practically significant results can be obtained only if the gravity model adequately describes the spatial distribution of passenger flows for each mode of transport separately.

³ Methodological guidelines for development and implementation of measures for organisation of traffic. Organisation of traffic at controlled intersections. JSC Scientific Research Institute of Automobile Transport, Moscow, 2017. [Electronic resource]: <https://e-ecolog.ru/docs/zZ7TAN6o8Pn-TZ7JAQqI2/>. Last accessed 22.12.2022.

⁴ STO [organisation's standard] AVTODOR 2.2–2013. Design, construction, operation of highways. Recommendations for predicting traffic intensity on toll sections of highways of the Avtodor state company and income from their operation. Moscow, Standard of the Avtodor State Company, 2013. [Electronic resource]: <https://studylib.ru/doc/2002300/rekomendacii-po-prognozirovaniyu-intensivnostidorozhnoho/>. Last accessed 22.12.2022.

In particular, when creating a transport model on a national scale, this also applies to long-distance railway transportation. Therefore, the main *objective* of the study was to test the adequacy of the gravity model for modelling the spatial distribution of passenger flows in long-distance railway transportation.

RESULTS

Gravity Model

Let passengers make trips from points of departure $i = 1, 2, \dots, I$ to points of destination $j = 1, 2, \dots, J$ and c_{ij} which is the generalised cost of a trip from point i to point j is known (generalised cost is a value that includes all the time and financial expenses of a passenger for the trip). Let's denote by T_{ij} the number of trips from point i to point j . Obviously, T_{ij} depends on the point of origin i , the point of destination j and the value c_{ij} . One of the simplest forms of such a dependence is a relation of the form:

$$T_{ij} = a_i b_j f(c_{ij}), \quad (1)$$

where a_i and b_j are some quantitative characteristics of origin and destination points;

$f(c)$ – a non-negative function that is defined for all $c \geq 0$.

If the function $f(c)$ is decreasing, and the characteristics a_i and b_j are interpreted as the sizes of the points of origin and absorption of passenger flows at the corresponding points, then dependence (1) is a mathematical implementation of the empirical rule «large and near situated objects interact more strongly than small and distant». Due to the similarity with Newton's law of universal gravitation, dependence (1) is called the gravity model.

Let s_i be the number of departures from point i (to all points of arrival), d_j – the number of arrivals at point j (from all points of departure). Then it follows from the obvious identities $\sum_{j=1}^J T_{ij} = s_i$, $\sum_{i=1}^I T_{ij} = d_j$ that a_i and b_j must satisfy the equalities

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^J a_i b_j f(c_{ij}) = s_i \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_{i=1}^I a_i b_j f(c_{ij}) = d_j \quad \forall j = 1, \dots, J. \end{cases} \quad (2), (3)$$

For given s_i and d_j , the system (2), (3) is a system of equations for the unknowns a_i and b_j . If for any c_{ij} the condition $f(c_{ij}) > 0$ is satisfied and

$$\sum_{i=1}^I s_i = \sum_{j=1}^J d_j,$$

then the system (2), (3) has a solution [7]. In this case, the solution will not be unique (if a_i^* , b_j^* is



a solution to system (2), (3), then θa_i^* , $\theta^{-1} b_j^*$ will also be a solution for any $\theta > 0$). However, it was shown in [7] that for any two different solutions a_i^1, b_j^1 and a_i^2, b_j^2 , the equality $a_i^1 b_j^1 = a_i^2 b_j^2$ will hold for any i, j .

This means that T_{ij} does not depend on which particular solution of system (2), (3) will be used in (1). Thus, the gravity model (1) establishes a one-to-one correspondence between the TM T_{ij} on the one hand and a pair of vectors (a_i, \dots, a_I) , (b_j, \dots, b_J) on the other.

The function $f(c_{ij})$ is called the gravitation function. It shows the «readiness» of the passenger to make a trip, depending on the size of the generalised cost c_{ij} . As a function of gravitation $f(c_{ij})$, the researchers often use a power function $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-\mu}$, an exponential function $f(c_{ij}) = \exp(-\mu c_{ij})$ or a combined function $f(c_{ij}) = c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij})$, which is also called exponential-power function.

The power and exponential functions of gravitation monotonically decrease for $c_{ij} > 0$, so for these functions, the lower is the generalised cost c_{ij} , the greater is the «readiness» of a passenger to make a trip. In many cases, this is true, but in some situations, for small values of c_{ij} , this may not be the case. For example, for intra-city public transport, many passengers have a lower «willingness» to travel between adjacent stops than for a longer distance (between two adjacent stops, such passengers prefer to walk). A similar situation will be true for long-distance railway transportation: for trips over short distances, passengers choose commuter trains or buses. Consequently, in such cases, to describe gravity, the combined function is more adequate, which, in the case of $\gamma > 0$, first increases and then decreases. Therefore, further we will consider (1) with the combined gravitation function, that is, in the form:

$$T_{ij} = a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}). \tag{4}$$

Calibration of the Gravity Model using the Observed TM

Let us assume that as a result of observations, the TM $N = \{n_{ij}\}$, $i = 1, \dots, I$, $j = 1, \dots, J$ is obtained and consider the problem of estimating the parameters a_i, b_j, γ and μ of the model (4) using the observed matrix N . Obviously, the

method of estimation depends on how exactly the model incorporates the stochasticity that is the cause of the deviation of the observed values n_{ij} from the modelled values T_{ij} . Let's take a closer look at some of the most popular approaches.

1. The simplest option is to assume that $n_{ij} = T_{ij} + \varepsilon_{ij}$ where ε_{ij} is a random variable. In this case, it is natural to use the least squares method (LSM) to estimate the model parameters. As a result, we get the minimisation problem:

$$S(a_i, b_j, \gamma, \mu) = \sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 = \sum_{i,j} (n_{ij} - a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}))^2 \rightarrow \min,$$

which, as a result of applying standard methods of mathematical analysis, leads to a system of equations for determining the parameters a_i, b_j, γ and μ :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_i} = 0 \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial S}{\partial b_j} = 0 \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial S}{\partial \mu} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \gamma} = 0. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sum_i T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0 \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_j T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0 \forall j = 1, \dots, J, \\ \sum_{i,j} C_{ij} T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0, \\ \sum_{i,j} \ln C_{ij} T_{ij} (n_{ij} - T_{ij}) = 0. \end{cases} \tag{5}$$

The weak point of this approach is that the use of least squares requires restrictions on ε_{ij} , which in this case, most likely, will not be satisfied. In particular, ε_{ij} will not be homoscedastic (obviously, the variance ε_{ij} depends on the value of T_{ij}). Also, a significant disadvantage of using LSM is the lack of a meaningful interpretation for equations (5).

2. Another approach, which was first rigorously stated in [8], is based on the assumption that each passenger randomly and independently of other passengers chooses one origin-destination segment (i, j) from $I \cdot J$ correspondences to make a trip. Moreover, the probability p_{ij} of choosing trip (i, j) is the same for all passengers. With this approach, T_{ij} is interpreted as the theoretical selection frequency of trip (i, j) with $n = \sum_{i,j} n_{ij}$ passengers, that is, $T_{ij} = n p_{ij}$. Therefore,

the gravity model (4) can be written as:

$$p_{ij} = \frac{1}{n} a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij}). \tag{6}$$

To estimate the parameters $a_1, \dots, a_I, b_1, \dots, b_J, \gamma, \mu$ of the model (6) based on the observed matrix N , the maximum likelihood method is used. In this case, the likelihood function will look like:

$$L = L(a, b, \gamma, \mu) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J (p_{ij})^{n_{ij}} = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J (n^{-1} a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}))^{n_{ij}}.$$

Taking the logarithm of the function L and considering that $n_{ij} \ln n^{-1}$ does not depend on the model parameters, and also that the probabilities p_{ij} must satisfy the normalisation condition $\sum p_{ij} = 1$, we arrive at the conditional optimisation problem:

$$\ln L = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} (\ln a_i + \ln b_j + \gamma \ln c_{ij} - \mu c_{ij}) \xrightarrow{a_i, b_j, \gamma, \mu} \max, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) = n.$$

Next, we use the method of Lagrange multipliers. The Lagrange function will look like: $F(a, b, \gamma, \mu, \lambda) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} (\ln a_i + \ln b_j + \gamma \ln c_{ij} - \mu c_{ij}) - \lambda (\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) - n)$.

Equating the partial derivatives of the function F to zero, we get (7)–(11).

If each of equations (7) is multiplied by a_i and summed over i (or each of equations (8) is multiplied by b_j and summed over j), then we get:

$$\lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} = n. \quad (12)$$

From here and from (11) it follows that $\lambda = 1$. Also (12) means that equation (11) is a consequence of each of the group of equations (7) and (8). Therefore, taking into account (4), the system of equations (7)–(11) takes the form:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^J T_{ij} = \sum_{j=1}^J n_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \sum_{i=1}^I T_{ij} = \sum_{i=1}^I n_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, J, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} c_{ij}^{\gamma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij}^{\gamma}, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \ln c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij}. \end{cases} \quad (13)–(16)$$

Thus, estimates of the parameters $a_1, \dots, a_I, b_1, \dots, b_J, \gamma, \mu$ can be found from the system of

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_i} = \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^J n_{ij} - \lambda \sum_{j=1}^J b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) = 0 \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial F}{\partial b_j} = \frac{1}{b_j} \sum_{i=1}^I n_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I a_i c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) = 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial F}{\partial \mu} = - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) (-c_{ij}) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \gamma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij} - \lambda \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) \ln c_{ij} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) - n = 0. \end{cases} \quad (7)–(11)$$

equations (13)–(16). In contrast to system (5), here all equations have a transparent interpretation, which corresponds well to the content of the gravity model. In particular, equation (13) means that for each point i , the model number of departures (to all points of arrival) must match the observed number of destinations. Similarly, equation (14) means that the corresponding modelled and observed arrivals coincide. Equation (15) shows that the total modelled cost of all trips should equal the total observed cost of all the trips. If both parts of (15) are divided by $\sum_{i,j} T_{ij} = \sum_{i,j} n_{ij}$, then it can be interpreted as an equality of the corresponding average costs. The last equation has the same meaning as (15), but only for the logarithmic generalised cost c_{ij} .

3. Another approach was proposed in [9] to include stochasticity in the gravity model. In this work, the number of trips from point i to point j is a discrete random variable Θ_{ij} , and the value T_{ij} given by formula (4) is interpreted as the mathematical expectation of the value Θ_{ij} , that is: $M[\Theta_{ij}] = T_{ij} = a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})$.

Let's assume that the values Θ_{ij} ($i=1, \dots, I, j=1, \dots, J$) are independent in the aggregate and obey the same distribution law (with different parameter values):

$$Pr(\Theta_{ij} = k) = \varphi(k, T_{ij}) = \varphi(k, a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})).$$

Then, to estimate the parameters $a_1, \dots, a_I, b_1, \dots, b_J, \gamma, \mu$ based on the observed matrix N , we use the maximum likelihood method. In this case, the likelihood function will look like:

$$L = L(a, b, \gamma, \mu) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J Pr(\Theta_{ij} = n_{ij}) = \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J \varphi(n_{ij}, a_i b_j c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij})).$$

After taking the logarithm of the function L , we obtain the following optimisation problem:



$$\begin{cases} \frac{\partial \ln L}{\partial a_i} = \frac{1}{a_i} \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} = 0 \quad \forall i = 1, \dots, I, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial b_j} = \frac{1}{b_j} \sum_{i=1}^I T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} = 0 \quad \forall j = 1, \dots, J, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} c_{ij} = 0, \\ \frac{\partial \ln L}{\partial \gamma} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij} \frac{d \ln \varphi}{d T_{ij}} \ln c_{ij} = 0. \end{cases} \quad (17)-(20)$$

$$\begin{aligned} \ln L &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \ln \varphi(n_{ij}, T_{ij}) = \\ &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \ln \varphi(n_{ij}, a_i b_j c_{ij}^\gamma \exp(-\mu c_{ij})) \xrightarrow{a_i, b_j, \gamma, \mu} \max. \end{aligned}$$

Equating the partial derivatives of the function $\ln L$ to zero, we obtain a system of equations for determining the required parameter estimates (17)–(20).

The specific form of equations (17)–(20) depends on the choice of distribution φ . Quite often, the Poisson distribution is used as φ :

$$\varphi(T_{ij}, n_{ij}) = \frac{\exp(-T_{ij}) T_{ij}^{n_{ij}}}{n_{ij}!}.$$

It can be verified by direct calculations that in this case system (17)–(20) turns into a system of equations (13)–(16). If we take the normal distribution as φ :

$$\varphi(T_{ij}, n_{ij}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(T_{ij} - n_{ij})^2}{2\sigma^2}\right),$$

then system (17)–(20) turns into system of equations (5). Moreover, this will be true for any standard deviation σ .

Thus, the third approach to modelling the stochasticity of the gravity model generalises the first and second approaches in the sense that it leads to identical systems of equations for determining model parameter estimates. At the same time, it should be emphasised that the first and third approaches model stochasticity in virtually the same way: in the first approach, $M[T_{ij}] = M[T_{ij} + \varepsilon_{ij}]$ under a fairly natural assumption that $M[\varepsilon_{ij}] = 0$, that is, in both approaches, the modelled number of origin-destination trips is interpreted as the mathematical expectation of the observed number of the trips. However, the second approach is fundamentally different from them: in it, the modelled relative frequency of origin-destination trips is the probability that a passenger chooses this trip.

As mentioned above, the first approach and equations (5) obtained on its basis are rarely used

to estimate the parameters of the gravity model and mainly in theoretical studies (one example of using the first approach to estimate the parameters of the TM based on the entropy model can be found in [20]), which is due to the need to impose not very realistic restrictions on ε_{ij} . At the same time, equations (13)–(16) are the main tool for estimating the parameters of the gravity model both in scientific research and when creating transport models for specific areas. Therefore, in this work, to calibrate model (4), we will use the system of equations (13)–(16). This system does not have an analytical solution, so it is necessary to use approximate methods to solve it.

Equations (13)–(14) actually represent system (2)–(3), where the observed numbers of departures and arrivals are used as s_i and d_j , which means that the above statements about the existence and uniqueness of the solution will be valid for them (this again emphasises the naturalness of using system (13)–(16) for model calibration). Therefore, for given values of γ and μ , system (13)–(14) uniquely determines all products $a_i b_j$, that can be found approximately using the method of simple iterations. To do this, a_i are expressed from equations (13), and b_j are expressed from equations (14). Then all a_i are given some initial values (usually one) and b_j are calculated from them based on equations (14). Based on the obtained values of b_j , a_i are calculated from equations (14) and so on. The process is continued until equalities (13)–(14) are fulfilled with a given level of accuracy. Such an algorithm is called the Fratar method, or the Furness method, or the biproportional algorithm (for details, see the monograph [21]).

Thus, equations (13)–(14) define the function $q(\gamma, \mu) = a_i(\gamma, \mu) b_j(\gamma, \mu)$. Therefore, (15)–(16) are equations for γ and μ (21)–(22).

Although the function $q(\gamma, \mu)$ is smooth, it cannot be specified analytically, moreover, only its approximate values are available to us. Therefore, to solve system (21)–(22), it is

Table 1

Main characteristics of observed TM [calculated by the authors]

Characteristics	LTM	STM
Number of cities	98	38
Number of specific origin-destination trips	9604	1444
Number of passengers	3743252	2240018
Number of zero specific origin-destination trips	6217	616
Number of specific origin-destination trips with less than 10 passengers	6504	622
Maximum number of passengers for one specific origin-destination trip	30006	30006
Average number of passengers for all origin-destination trips	390	1551
Average number of passengers for all non-zero specific origin-destination trips	1105	2705
Median number of passengers for all specific origin-destination trips	0	134
Median number of passengers for all non-zero specific origin-destination trips	157	835
Passengers turnover, thousand people-km	4563511	3009016
Average trip distance, km	1219,13	1348,3

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij}(\gamma, \mu) c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q(\gamma, \mu) c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} c_{ij}, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J T_{ij}(\gamma, \mu) \ln c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q(\gamma, \mu) c_{ij}^{\gamma} \exp(-\mu c_{ij}) \ln c_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij} \ln c_{ij}. \end{array} \right. \quad (21)-(22)$$

convenient to pass to an equivalent optimisation problem:

$$\begin{aligned} H(\gamma, \mu) &= H_1(\gamma, \mu) + H_2(\gamma, \mu) = \\ &= \left| \sum_{i,j} T_{ij}(\gamma, \mu) c_{ij} - \sum_{i,j} c_{ij} n_{ij} \right| + \\ &+ \left| \sum_{i,j} T_{ij}(\gamma, \mu) \ln c_{ij} - \sum_{i,j} n_{ij} \ln c_{ij} \right| \rightarrow \\ &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (23)$$

to solve which it is necessary to use gradientless optimisation methods.

Initial Data

To calibrate the gravity model in this work, we used data from the automated control system of the Express ADB ACS, available through the Correspondence and financial results AWP. This system allows getting the number of tickets sold for long-distance trains for any pair of departure and arrival stations, that is, the observed TM.

The data processed covered a month of 2019⁵. The period was typical for prepandemic period. In total, the ACS contains information about almost 37000 stations. But the vast majority of stations generate negligible passenger traffic. For 35000 stations, the number of departed and arrived passengers (for all destinations) is only a few per month. For another 1000 departure (arrival) stations, there are no more than 500 passengers per month, that is, less than 20 people per day. Therefore, it makes no sense to use all

⁵ Data were collected directly from Express ADB ACS based on the agreement on the access granted in 2019 to the Ural State University of Railway Transport for research purposes.

stations to calculate the parameters of the gravity model. It is also necessary to keep in mind that several railway stations can be located in one and the same city, so their passenger flows must be combined, and TM should be considered by stations, but by cities.

To compare the quality of approximation for observed TM of different sizes, we will calibrate the model on two data sets: TM for cities, each of which has a total of more than 20 thousand departures and arrivals, as well as TM for cities, each of which has a total of more than 50 thousand departures and arrivals. For brevity, we will call the first of them a large TM (LTM), and the second a small TM (STM). The statistics of these TM are presented in Table 1.

Note that TM under consideration have a rather large number of zero correspondences (see Table 1). In particular, because there is no direct passenger communication between many cities. The points of departure and arrival within STM, as well as all origin-destination trips with a volume of more than 5000 passengers, are shown in Pic. 1.

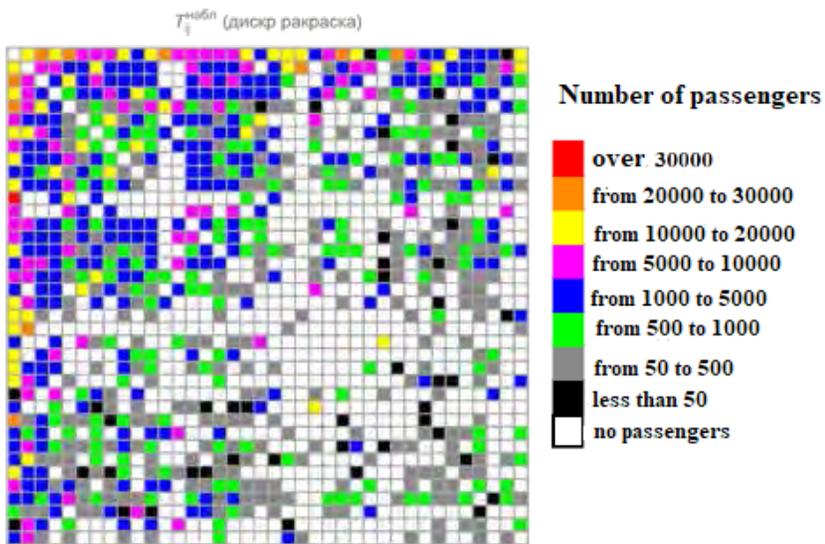
Also, visualisation of the observed data for STM case is shown in Pic. 2. Here, a high degree of heterogeneity in distribution of passengers by origin-destination trips is clearly visible: the vast majority of cities have significant passenger flows for a small number of origin-destination trips (from 1 to 4) and only for a few cities distribution of passengers by origin-destination trips looks uniform.

As a generalised cost c_{ij} in the gravity model, we will use the tariff distance between stations.





Pic. 1. STM correspondences with a volume of more than 5000 passengers [built by the authors].



Pic. 2. Visualisation of STM [built by the authors].

If there is no direct passenger link between stations i and j , then we accept that $c_{ij} = \infty$. We also do the same for the diagonal elements of TM, that is, $c_{ij} = \infty$ for any i . In calculations, a sufficiently large number is used as ∞ .

For such a choice of c_{ij} , the left and right sides of equation (21) are the modelled and observed passenger traffic, respectively, and the minimised function $H_1(\gamma, \mu)$ is equal to the absolute deviation of the modelled passenger traffic from the observed one. If both parts of equation (21) are divided by $\sum_{i,j} T_{ij} = \sum_{i,j} n_{ij}$, then we get the model and observed average trip distances (ATD). Equation (22) can be interpreted similarly for a logarithmic distance (logdistance). Thus, the calibration of the gravity model is reduced to the selection of such

values of the parameters γ and μ , at which the modelled passenger turnover coincides with the observed one.

We also note that the parameters γ and μ do not depend linearly on the choice of the measurement unit c_{ij} . In particular, if c_{ij} is measured in kilometers, then at distances of several thousand kilometers characteristic of the Russian railway network, the values of γ and μ may turn out to be less than computer zero. Therefore, the values of c_{ij} will be set in thousand km.

Simulation Results

The Nelder–Mead method was used to minimise function (23). The results obtained are presented in Table 2.

Table 2

Gravity model calibration results [calculated by the authors]

Value	LTM	STM
Parameter γ	0,3611	0,6616
Parameter μ	1,1515	1,3093
Function to be minimised $H(\gamma, \mu)$	365,1	32,7
Absolute deviation of passenger turnover $H_1(\gamma, \mu)$	199,7	18,29
Absolute passenger turnover deviation for logdistance $H_2(\gamma, \mu)$	165,4	14,44
Relative deviation of passenger turnover $H_1(\gamma, \mu) / \sum c_{ij} n_{ij}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-6}$
Relative deviation of passenger turnover for logdistance $H_2(\gamma, \mu) / \sum n_{ij} \ln c_{ij}$	$5,5 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-5}$

As can be seen from the Table 2, in both cases, the model calibration was performed with a sufficiently high accuracy. In particular, the modelled passenger turnover is equal to the observed one with a relative error of less than 0,01 %.

To validate the gravity model, the proximity between the observed and modelled TM is estimated, and the modelled and observed distributions of travel distances are compared (this approach is also available in situations where the observed TM is unknown, and the distribution of travel distances is obtained using surveys). In this case, certain difficulties may arise in the use of standard tools for comparison and interpretation of the results obtained (see [22–24] and, especially, [25]). In particular, the use of the chi-square test to compare TM (and travel distance distributions) almost always leads to rejection of the hypothesis about the coincidence of modelled and observed frequencies, which is due to the sparseness of the observed TM and the very high sensitivity of this criterion for large sample sizes. Similar difficulties arise when using other chi-square criteria.

It is also necessary to use with precaution such indicators as the correlation coefficient, the coefficient of determination, and the like as proximity measures because of strong nonlinearity (for close values of these indicators, the quality of the models can differ significantly [22; 25]). To overcome the difficulties associated with nonlinearity, relative information criteria have been developed that depend on errors «almost linearly» and therefore allow effectively comparing different models [25]. If the task is to check the adequacy of one model, then here it is necessary to proceed from the meaningful formulation of a specific problem and use easily

interpretable proximity measures such as the average absolute error and others.

In our case, the distribution of travel distances for the observed and modelled matrices is shown in Pic. 3. Here, the modelled values are in good agreement with the observed ones: the total deviation for all intervals is 14 % for both STM and LTM, that is, only 14 % of the passengers predicted by the model will travel distances different from those observed. In passing, we note that, as mentioned above, the formal application of the chi-square test leads to the conclusion that the modelled and observed frequencies differ: for STM and LTM, the values of the criterion are $\chi_{obs}^2 = 150031$ and $\chi_{obs}^2 = 149143$, respectively.

Quantitative estimates of proximity of matrices are presented in Table 3. Here it can be immediately noted that, except for MAE (mean absolute error) and S (standard deviation), all indicators are practically the same for LTM and STM. The strong differences between MAE and S are due to the fact that LTM and STM differ much more in the number of specific origin-destination trips than in the number of passengers.

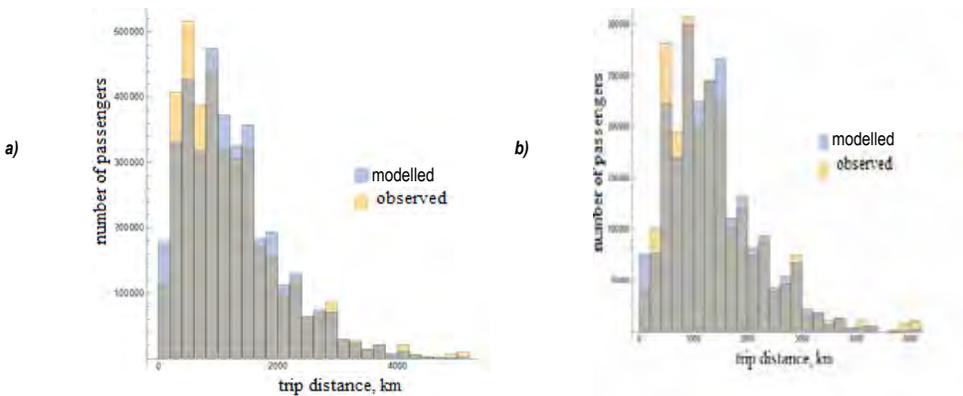
The obtained values of indicators MAE, MAE_p and S in Table 3 indicate a low level of agreement between the observed and modelled values. In particular, the MAE value is more than 50 % of the average and median number of passengers (see Table 1), and MAE_p shows the same values relative to one passenger. The coefficients of correlation and determination show a higher level of compliance, but as already noted, in this situation this is of secondary importance.

The final conclusions regarding the quality of the obtained model can be drawn from Pic. 4. In the picture, along with the residuals of the model, straight lines $y = 0,1x$ and $y = 0,5x$ (on a logarithmic scale along the x axis) are plotted, which highlight

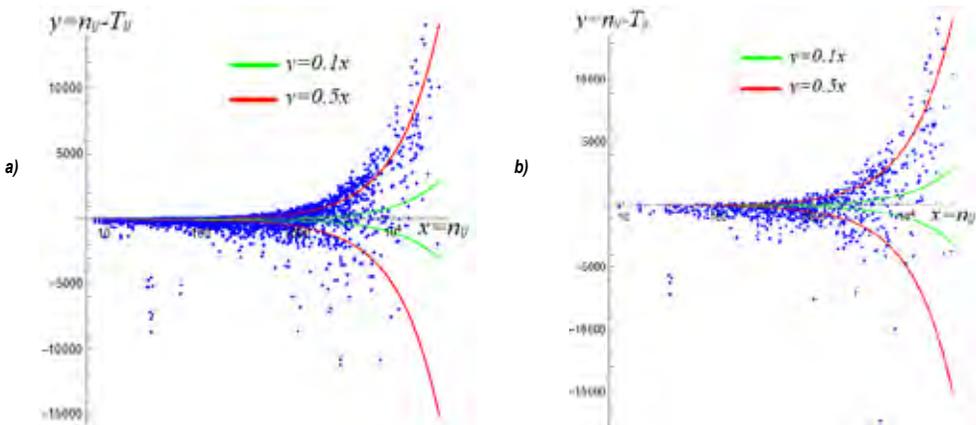


Proximity measures between modelled and observed TM [calculated by authors]

Measure of proximity of matrices	LTM	STM
Mean absolute error $MAE = \sum_{i,j} |n_{ij} - T_{ij}| / (I \cdot J)$	242	886
Absolute error averaged per passengers $MAE_p = \sum_{i,j} |n_{ij} - T_{ij}| / \sum_{i,j} n_{ij}$	0,62	0,57
Standard deviation $S = \left(\sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 / (I \cdot J - 1) \right)^{1/2}$	1152	2337
Correlation coefficient $r = cov(n_{ij}, T_{ij}) / (\sigma(n_{ij}) \sigma(T_{ij}))$	0,77	0,78
Correlation coefficient r only for $n_{ij} > 0$	0,75	0,75
Determination coefficient $R^2 = 1 - \sum_{i,j} (n_{ij} - T_{ij})^2 / \sum_{i,j} (n_{ij} - \bar{n}_{ij})^2$	0,55	0,59
Determination coefficient R^2 only for $n_{ij} > 0$	0,51	0,53



Pic.3. Comparison of the modelled and observed distribution of travel distance for: a) LTM; b) STM [built by the authors].



Pic. 4. Model deviations for: a) LTM; b) STM (logarithmic scale is used on the horizontal axis) [built by the authors].

10 % and 50 % of the model deviation for specific origin-destination trips. The Pic. 4 shows that there are few accurate forecasts (with a deviation of less than 10 %), and a lot of inaccurate forecasts (with a deviation of more than 50 %). And this is true for specific origin-destination trips with any volume of passengers. Thus, the gravity model

cannot be used to predict passenger flows on individual origin-destination segments.

CONCLUSIONS

Checking the adequacy of the gravitational model with a double constraint and an exponential-power function of gravitation for modelling the

origin-destination trip matrix of a long-distance railway transportation shows that:

1) The model predicts with high accuracy such aggregated characteristics of spatial distribution of passenger flows as the average trip distance, total passenger turnover and trip distance distribution.

2) The accuracy of the model for predicting the passenger flows on individual origin-destination segments is quite low.

Thus, the model can be used to predict the distribution of travel distances, but it cannot be used to predict the volume of individual origin-destination routes.

REFERENCES

1. Ortúzar, J. de D., Willumsen, L. G. Modelling Transport. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2011, 608 p. ISBN 1119993520, 9781119993520.
2. Reilly, W. J. The law of retail gravitation. New York: Knickerbocker Press, 1931. Corpus ID: 117983034.
3. Hua, C., Porell, F. A Critical Review of the Development of the Gravity Model. *International Regional Science Review*, 1979, Vol. 4 (2), pp. 97–126. DOI: 10.1177/016001767900400201.
4. Izard, U. Methods of regional analysis: an introduction to the science of regions. Transl. from English by V. M. Khoman, Yu. G. Lipets, S. N. Tager. Moscow, Progress publ., 1966, 660 p. [Electronic resource]. <https://libcats.org/book/671460/>. Last accessed 13.01.2023.
5. Martynenko, A. V. Modification of the Gravity Model of Anderson and van Wincoop for the Analysis of Russian-Belarusian Trade. *AlterEconomics*, 2022, Vol. 19, Iss. 2, pp. 326–350. DOI: 10.31063/AlterEconomics/2022.19-2.7.
6. Hyman, G. M. The calibration of trip distribution models. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1969, Vol. 1 (1), pp. 105–112. DOI: 10.1068/a010105.
7. Evans, A. W. Some properties of trip distribution methods. *Transportation Research*, 1970, Vol. 4, pp. 19–36. DOI: 10.1016/0041-1647(70)90072-9.
8. Evans, A. W. The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions. *Transportation Research*, 1971, Vol. 5 (1), pp. 15–38. DOI: 10.1016/0041-1647(71)90004-9.
9. Kirby, H. R. Theoretical Requirements for Calibrating Gravity Models. *Transportation Research*, 1974, Vol. 8, Iss. 2, pp. 97–104. DOI: 10.1016/0041-1647(74)90036-7.
10. Erlander, S., Stewart, N. F. The gravity model in transportation analysis: theory and extensions. CRC Press, 1st edition, 1990, 226 p. ISBN-10 9067640891; ISBN-13 978-9067640893.
11. Wells, G. Traffic Engineering: An Introduction. Charles Griffith, London, 1979. 2nd ed. ISBN 978-0852642542.
12. Grosche, T., Franz Rothlauf, F., Heinzl, A. Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 2007, Vol. 13 Iss. 4, pp. 175–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2007.02.001>.
13. Lenormand, M., Bassolas, A., Ramasco, J. J. Systematic comparison of trip distribution laws and models. *Journal of Transport Geography*, 2016, Vol. 51, pp. 158–169. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015.12.008.
14. McArthur, D. P., Kleppe, G., Thorsen, I., Ubøe, J. The spatial transferability of parameters in a gravity model of commuting flows. Department of Finance and Management Science, Norwegian School of Economics and Business Administration, Discussion Papers, 2011, Vol. 19 (4), 27 p. DOI: 10.2139/ssrn.1612164.
15. Martynenko, A. V., Filippova, E. G. Modeling of spatial distribution of intercity automobile trips on the basis of carpooling services data. *Transport Urala*, 2021, Iss. 3 (70), pp. 33–38. DOI: 10.20291/1815-9400-2021-3-33-38.
16. Chen, Yanguang. The distance-decay function of geographical gravity model: Power law or exponential law? *Chaos, Solitons & Fractals*, 2015, Vol. 77, pp. 174–189. DOI: 10.1016/j.chaos.2015.05.022.
17. Cordera, R., Sañudo, R., dell’Olio, L., Ibeas, Á. Trip distribution model for regional railway services considering spatial effects between stations. *Transport Policy*, 2018, Vol. 67 (C), pp. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.01.016>.
18. Abdel-Aal, Mounir. Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria. *Alexandria Engineering Journal*, 2014, Vol. 53, Iss. 3, pp. 677–689. DOI: 10.1016/j.aej.2014.04.006.
19. Timofeeva, G., Ie, O. Evaluation of origin-destination matrices based on analysis of data on transport passenger flows. In: Applications of Mathematics in Engineering and Economics, AMEE 2020: Proceedings of the 46th International Conference, Sofia, American Institute of Physics Inc., 2020, Vol. 2333, 100002. DOI: 10.1063/5.0041801.
20. Ivanova, A. S., Omelchenko, S. S., Kotlyarova, E. V., Matyukhin, V. V. Calibration of parameters of the correspondence matrix calculation model for Moscow [*Kalibrovka parametrov modeli rascheta matritsy korrespondentsii dlya g. Moskvy*]. *Kompyuternie issledovaniya i modelirovanie*, 2020, Vol. 12, Iss. 5, pp. 961–978. DOI: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2020-12-5-961-978>.
21. Ortúzar, J. D., Willumsen, G. L. Modelling transport. New Delhi, 2011, 608 p. ISBN 9781119993537.
22. Black, W. R. A note on the use of correlation coefficients for assessing goodness-of-fit in spatial interaction models. *Transportation*, 1991, Vol. 18, pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00172935>.
23. Wilson, S. R. Statistical notes on the evaluation of calibrated gravity models. *Transportation Research*, 1976, Vol. 10, Iss. 5, pp. 343–345. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(76\)90114-3](https://doi.org/10.1016/0041-1647(76)90114-3).
24. Black, J. A., Salter, R. J. A statistical evaluation of the accuracy of a family of gravity models. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 1975, Vol. 59 Iss. 1, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1680/iicep.1975.3839>.
25. Knudsen, D. C., Fotheringham, A. S. Matrix comparison, goodness-of-fit, and spatial inter-action modeling. *International Regional Science Review*, 1986, Vol. 10, pp. 127–147. DOI: 10.1177/016001768601000203. ●

Information about the authors:

Martynenko, Alexander V., Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of the Scientific Research Laboratory of Transport Modelling of Ural State University of Railway Transport (USURT); Senior Researcher at the Centre for Development and Allocation of Productive Forces of the Institute of Economics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IE UB of RAS), Yekaterinburg, Russia, amartynenko@rambler.ru.

Saifutdinov, Denis Zh., Ph.D. student at the Department of Natural Sciences of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia, densssov@yandex.ru.

Article received 22.12.2022, approved 27.02.2023, accepted 03.03.2023.





Legal and Technological Aspects of Life Cycle Contract Implementation in the Long-Distance Passenger Rail Transportation



Alexander I. ZEMLIN



Andrey S. SHINKARUK



Elena P. VISHNIAKOVA

*Aleksander I. Zemlin*¹, *Andrey S. Shinkaruk*², *Elena P. Vishniakova*³

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² Federal Passenger Company, Moscow, Russia.

³ Transport company Fesco, Moscow, Russia.

✉ ¹ zemlin.aldr@yandex.ru.

² ORCID 0000-0001-8426-8625.

ABSTRACT

The objective of the paper is to review and evaluate implementation of maintenance and repair of passenger rolling stock based on the contractual relations under a life cycle contract (LCC).

The analysis and the experience gained in shaping contractual relations in the LCC format, both on the part of foreign companies and in the domestic market, have resulted in the conclusion that it is beneficial for the customer to conclude LCC. Ultimately, the costs are reduced by about 10–15 % compared to the traditional form of contractual relations (separate contracts for manufacturing and, respectively, service maintenance). LCC is also advantageous since it eliminates the need to search for and subsequently contract the contractors at the stage of operation.

When concluding LCC contract, both purchase and subsequent maintenance of rolling stock can be carried out through a concession agreement in compliance with legislation regulating the procurement procedure. When purchasing, it is necessary to be guided by the requirements of federal law in terms of mandatory tender procedures and selection of potential suppliers.

The analysis of existing models for formation of contractual relations for maintenance of rolling stock under the LCC contract has shown that it is advisable to consider the possibility of extending it to newly manufactured passenger rolling stock used in long-distance passenger transportation.

Keywords: railways, passenger transportation, passenger coach, contract, life cycle, customer, operation and maintenance, life cycle contract.

For citation: Zemlin, A. I., Shinkaruk, A. S., Vishniakova, E. P. Legal and Technological Aspects of Life Cycle Contract Implementation in the Long-Distance Passenger Rail Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 224–227. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-10>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

A life cycle contract (LCC) covers development of new rolling stock, its maintenance throughout the entire life cycle, and the disposal of a wagon that has reached its standard service life. This approach in world practices has proven itself quite positively.

By the beginning of development of higher-speed and high-speed rail transport on the territory of European countries, which fell on the end of the 1970s – the beginning of the 1980s, the concept had been developed to divide the transportation process into the following main segments: procedures of appointment of trains and the traffic operation (train schedule and timetable), ticketing, service maintenance (catering, train attendants), as well as maintenance and repair of rolling stock [1, p. 115].

The first life cycle contracts were concluded in the UK in the 1990s for acquisition and subsequent maintenance of locomotives. Initially, the life cycle contract was called the Private Finance Initiative.

Hence, for example, based on a form of private-public partnership a tunnel under the English Channel was built, lines of the London Underground and lines of high-speed trains were laid.

The main advantage of the LCC is that the contractor is directly interested not only in the fastest possible production of rolling stock, but also in its efficient and long-term use, minimising the cases of unscheduled repairs or downtime of wagons. After all, he will receive payment not for the object itself, but for its use by the owner.

With such a scheme of interaction, the manufacturer takes responsibility for maintaining his product in working condition. Consequently, during manufacture of a passenger coach, the most efficient and advanced technical structural solutions are incorporated already at the design stage.

Signing a contract offers to each party a number of advantages. The manufacturer improves quality of rolling stock, acquires new competencies, and makes a profit throughout the life of the product. The customer does not have problems with timeliness and completeness of service procedures, besides, there is no need to select a contractor for maintenance.

Based on the experience of concluding LCC in several European countries, it has been established that it is beneficial for the customer to conclude them, since costs are reduced by about 10–15 percent compared to the traditional contracts (a separate contract for manufacturing and a separate contract for service maintenance). Also, the customer does not need to carry out procedures to search for contractors for maintenance of rolling stock.

The *objective* of the study was to analyse legal and technological aspects of implementation of LCC for long-distance rail passenger transportation.

RESULTS

In the Russian Federation, the regulatory framework for servicing based on the life cycle was established in 2014 with the adoption of Federal Law No. 44-FZ¹, according to which the following term describes the life cycle contract: this is «a contract for purchase of goods or work, their further maintenance, repair, operation and destruction of goods (object)». Also, this Federal Law provides for reservations that can be included at the stage of creation and design of an object, if necessary.

Based on comprehensive interpretation of the norms of this law, it follows that conclusion of contractual relations based on the LCC implies the validity of the contract for the entire period of the object's existence. If the customer wants to conclude an additional agreement or contract for one or more types of work, from those that are regulated or governed by the principles of LCC, then this may entail liability for violation of competition rules.

On the technological side, implementation of all stages of rolling stock life cycle, from the design of the coach to its disposal, the principles of which are regulated by the requirements of GOST [State Standard] 31539-2012 [3]², as well as unconditional implementation of the rules

¹ Federal Law dated April 5, 2013, No.44-FZ «On the contract system in the field of procurement of goods, works, services to meet state and municipal needs». [Electronic resource]: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/37056>. Last accessed 27.10.2022.

² GOST [State Standard] 31539-2012. Life cycle of railway rolling stock. Terms and definitions. Moscow, Standartinform publ., 2014, 14 p. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200097621>. Last accessed 23.10.2022.



and regulations for safe operation of the coach in accordance with the requirements of the technical regulation of the Customs Union TR CU 001/2011³ will be in the contractor's area of responsibility.

The Government of the Russian Federation by Decree No. 1087 «On determining the cases of concluding an LCC»⁴ determined an exhaustive list of infrastructure facilities that are created and maintained based on the LCC principle. This list includes such infrastructure facilities as road facilities, metro, rail transport, off-street and electric transport on land, ports, ships and aircraft, airfields, as well as unique capital construction facilities and public utilities.

Thus, the Government made it clear that in Russia the LCC will be formed not based on joint cooperation between the state and the contractor, but as one of the forms of public procurement.

At the same time, contractual relations in railway transport based on the LCC principle had been also concluded earlier. Based on these principles, JSC Russian Railways and its subsidiaries signed agreements with Siemens, Patentos Talgo, and Transmashholding structures for servicing Sapsan, Lastochka, and Strizh trains, as well as a number of locomotive series, respectively.

Also, in 2013, the Moscow Metro State Unitary Enterprise and OJSC Metrovagonmash entered into a contract on the principle of life cycle, according to which the contractor was obliged to maintain, repair and supply technically sound rolling stock during next 30 years.

Based on the analysis of the principles laid down in the legal documents of the procedure for concluding LCC contracts, it is advisable to note that the legal basis for purchase and subsequent maintenance of rolling stock can be carried out both by concluding a contract using

³ Technical regulation of the Customs Union TR CU «On safety of railway rolling stock». Minsk, Belarusian State Institute for Standardisation and Certification, 2012, 47 p. [Electronic resource]: <https://e-catalog.nlb.by/Record/BY-NLB-br0000821772>. Last accessed 23.10.2022.

⁴ Decree of the Government of the Russian Federation No. 1087, dated 28.11.2013 «On determining the cases of concluding a life cycle contract (LCC)» (as amended and complemented). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/70522166/#friends>. Last accessed 19.10.2022.

a concession agreement, and directly through procurement activities (depending on the composition of actors on the part of the state, object and purpose of the agreement). Thus, when carrying out procurement activities, it is mandatory to be guided by Federal Law No. FZ-223 «On the specifics of procurement of goods (works, services) by certain types of legal entities»⁵, which regulates the procedure for the customer to conduct a competitive selection of potential suppliers.

As part of the competitive procedures and criteria for competitive selection, the relevant parameters for the selection are fixed, and all conditions planned for signing the contract are included. In accordance with the requirements of the Federal legislation, it is also possible to form a complex contract, which may include not only obligations intended directly for maintenance of rolling stock, but also obligations regarding possible attraction of additional funding.

At the same time, highly significant is the factor of legal regulation of relations in the field of establishing, applying and fulfilling mandatory requirements for products or for product-related processes of design (including surveys), production, construction, installation, commissioning, operation, storage, transportation, sale and disposal; of voluntary application of requirements for products, design processes (including surveys), production, construction, installation, adjustment, operation, storage, transportation, sale and disposal, for performance of work and provision of services; as well as legal regulation of relations in the field of compliance assessment [2, p. 237; 3; 4].

For any contract, the key obligation will be to pay for supply and service through instalment payments after the start of operation of rolling stock. The obligations of the customer under such a contract will be to provide real estate for accommodation of personnel and production facilities for organisation and conduct of service maintenance by the contractor, since the

⁵ Federal Law «On the specifics of procurement of goods, works, services by certain types of legal entities» dated July 18, 2011 No. 223-FZ. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/. Last accessed 19.10.2022.

maintenance technology will also directly depend on the supplier of rolling stock.

Consequently, to ensure maintenance of production facilities and performance of technological operations, it will also be necessary to involve investment funds for purchase of equipment, as well as for reconstruction of a number of production sites.

When preparing a LCC, it is also necessary to consider the risk-free aspect of the procedure, since the contractor's investment in the re-equipment of production sites will increase the cost of both the service itself and the attracted financing. At the same time, risk-freeness is not absolute, since, as the COVID-19 pandemic has shown, its main impact has fallen on the transport sector [4] and at the same time made relevant the importance of the medical component of transport security as one of the risk reducing factors [5, p. 183] along with other components including in the field of ecology [6].

Based on the foregoing, it is advisable to consider other alternative options, for example, a concession which is a structured version of a transaction for purchase of rolling stock, within which it is possible to combine provision of property for organisation of a repair base with supply of rolling stock to a structural subdivision of the customer. In this case, the customer will exercise certain powers of the concession grantor.

CONCLUSIONS

Thus, based on the results of the analysis of existing models for development of the principles of maintenance of rolling stock based on the LCC, it is advisable to consider the possibility of extending it to newly manufactured long-distance passenger rolling stock.

To systematise and implement the approach to ensure passenger transportation based on the conclusion of contractual relations under the LCC system, it is necessary to develop normative acts of technical regulation of design, technological, logistical and production processes with their subsequent introduction into regulatory legal acts and into the educational process to improve the competence of future transport employees [7].

REFERENCES

1. Karaseva, A. A., Vasilieva, M. A. Analysis of world experience in the development of high-speed rail transport [*Analiz mirovogo opyta razvitiya vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta*]. *Molodoy ucheniy*, 2016, Iss. 6 (110), pp. 114–117. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/110/26636>. Last accessed 16.10.2022.
2. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current Issues of Metro Safety Technical Regulations. In: *Proceedings of the 13th International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, Singapore, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6208-6_24.
3. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, Vol. 666, 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
4. Chernogor, N. N., Zemlin, A. I., Kholikov, I. V., Mamedova, I. A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 203, 05019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>.
5. 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.
6. Bagreeva, E. G., Zemlin A. I., Shamsunov S. K., Blankov A. S. On the issue of classification of risks of environmental safety of the transport complex: legal and organizational aspects. *Turismo-estudos e praticas*, 2021, No. 1, pp. 1–8. [Electronic resource]: <https://geplat.com/rtep/index.php/tourism/article/view/882>. Last accessed 22.10.2022.
7. Kholikov, I. V. Law and Transport: Continuing the Topic. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 1 (86), pp. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264. ●

Information about the authors:

Zemlin, Aleksander I., D.Sc. (Law), Ph.D. (Philosophy), Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Transport Law of Law Institute of Russian University of Transport; Scientific Supervisor for the Transport Safety Issues of the Scientific and Expert Council of the Centre for Security Studies of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, zemlin.aldr@yandex.ru.

Shinkaruk, Andrey S., railway engineer, Chief Inspector for Train Safety of Federal Passenger Company (FPC), Moscow, Russia, Shinkarukas@mail.ru.

Vishniakova, Elena P., Deputy Director of the Department of TC Fesco, Moscow, Russia, gegr55@mail.ru.

Article received 19.08.2022, approved 05.09.2022, accepted 16.01.2023.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-11>

Development of a Harmonised Software Algorithm to Prepare to Transport Oversized Cargo



Maksim A. KOPYLOV

Maksim A. Kopylov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

✉ dorothej@mail.ru.**ABSTRACT**

Improving the processes of cargo transportation leads to expansion of capabilities of carriers, manufacturers, and customers, which in turn results in an increase in the need for transportation of goods.

Increasing the speed and quality of operations at the stages of preparation for oversized cargo delivery will reduce the cost of delivering such cargo, will attract investment in various sectors of the economy.

Hence, relevant is the research topic considered as the purpose of the study described in the paper and inspired by the need to develop and apply a harmonised software algorithm for preparing to transport the oversized cargo.

The study was based on theoretical methods of analysis of domestic and foreign sources of information on preparation for transportation of oversized cargo. Aspects related to preparation for delivery of oversized cargo were sequentially considered, and a draft algorithm was developed to automate the planning of the stages of transportation of oversized cargo.

The application of the proposed automated unified algorithm for preparing for the transport process is expected to reduce the labour and time costs of the process of displacement of oversized cargo as a whole and the risks of making a technological error at the stages of preparing for transporting oversized cargo, which might result in financial and reputational losses.

Keywords: transport, oversized cargo, algorithm, transportation automation.

For citation: Kopylov, M. A. Development of a Harmonised Software Algorithm to Prepare to Transport Oversized Cargo. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 228–236. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-11>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

Currently, a large number of investment projects are being implemented in the Russian Federation.

Their implementation necessitates the delivery to these construction sites of such oversized goods as pipes, sections of wind turbine towers, bridge sections, bridge beams and other elements, as well as delivery of large-sized road transport equipment.

The number of construction sites requiring large elements, which are large-sized cargo when transported, is also growing in Europe [1]: this is construction of ports, large logistics centres, and so on.

The international expertise recognizes that planning optimal schemes for transportation of oversized cargo by road can provide an important guarantee of safety and reliability of provision of large-scale projects. Software products intended for planning the transportation of oversized cargo have been increasingly used in the work of logistics companies. Modern advanced modelling and simulation of delivery of oversized cargo, even weight values of the road angle are taken into account when choosing the route of vehicles on highways, not to mention typical software algorithms for calculating the shortest path [2].

Back in 2009, to improve quality of handling oversized cargo in the South Baltic region, the international Oversize Baltic project was launched, led by the Klaipeda Science and Technology Park, in which partners from Poland, Germany, Lithuania and Sweden participated. One of the main goals of the project was to create an information network intended to:

1. Increase the efficiency of oversized cargo transportation in the South Baltic region by identifying integration points where appropriate permission will be obtained.

2. Collect data on available transit routes for oversized cargo, existing transport infrastructure and obstacles.

It was planned that the program was intended to include both «new» and «old» EU member states, where there are significant differences in the level of social and economic development, and to be extended to all modes of transport. The project was implemented in 2009–2011 and was aimed at developing entrepreneurship, integrating labour markets, as well as transport accessibility of the regions,

and also includes actions taken to support projects related to protection of the environment of the Baltic Sea, energy saving and renewable energy, sustainable use of natural resources and cultural heritage for regional development and elimination of transport bottlenecks in the coastal zone of the South Baltic¹ [3].

Based on the thematic analysis of information, it can be said with confidence that the businesses demonstrate the need for software that covers the entire process of planning the preparatory stages of delivery of oversized cargo.

However, studying the materials on the research topic, today it can be concluded that there is no single, clearly formulated algorithm of actions for preparing oversized cargo transportation, there is either an unsystematised set of tasks that need to be solved before the start of transportation or algorithms of actions within individual stages.

In most cases of using software products in oversized cargo transportation planning, the emphasis is on automating the routing and monitoring the immediate stage of cargo transportation, and that, basically, this software is designed for transportation of goods of everyday demand (consignments of goods).

However, a possibility of creating an automated approach to planning the transportation of oversized cargo is considered in the domestic specialized sources. Many authors turn to the topic of developing a methodology for the process of improving delivery of oversized cargo with the help of automation [4; 5]. Russian specialists describe various types of transportation using one or another mode of transport using specific examples. However, the algorithm based on which it is possible to create a unified software product has not still been proposed. Such stages of the transportation process as the stage of analysis of the criteria specified by the customer, preparation of documentation, prompt elimination of errors and obstacles in case of their occurrence directly during the process of transportation of oversized cargo are not effectively considered.

Due to non-standard dimensions and weight, as well as other features of oversized cargo, its delivery becomes a complex and expensive

¹ Webpage of the project: <https://trimis.ec.europa.eu/project/oversize-baltic>. Last accessed 02.12.2022.



process, errors in implementation of which can lead to financial and reputational losses.

Summarising the above information, the author sets *the objective* to formulate and propose for consideration a harmonised algorithm, which should be the basis of a software product for automating the processes of preparing for transportation of oversized cargo.

The study used theoretical methods of analysis of national and foreign sources on preparing oversized cargo for transport, of data on software programs concerning stages of oversized cargo delivery to summarise software capacity to develop single (harmonised) algorithm of automation of the process of preparing oversized cargo delivery.

RESULTS

The relevance of creating an algorithm for planning the stages of preparing delivery of oversized cargo for a software product is dictated by the need to increase the efficiency of preparatory work, to reduce time costs and improve quality of loading/unloading cargo; to minimise the risk of making a technological error at the stages of preparation for transportation of oversized cargo. Increasing the efficiency of preparatory work will help avoid reputational and unnecessary financial losses.

Large firms that transport bulky and oversized cargo, investing in such software products, will eventually be able to get universal software that ensures work efficiency, replaces many disparate software products that do not provide a consolidated result.

Based on the study of materials on various types of delivery of oversized cargo, it is proposed to consider the following main stages of the universal algorithm for planning the transportation of oversized cargo.

The first stage is the analysis of physical and chemical characteristics of oversized cargo to be transported.

It is proposed to determine physical and chemical properties, namely, dimensions, weight of the oversized cargo being transported, as well as to clarify other features associated with transportation of this cargo (dangerous cargo, fragile cargo, and so on).

The main physical and chemical parameters of the cargo will determine the route, conditions, and speed of transportation. This relationship

is considered in detail in the work of Czech specialists [6], who, to model the optimal transportation route, installed sensors and tracking devices on a vehicle intended for transportation of oversized cargo and recorded all stages of transportation over many years to identify what difficulties and loads await the vehicle with bulky cargo on the road, depending on its physical and chemical properties. Then the obtained data were used to improve vehicles transporting oversized cargo, and only after doing that, optimal routes for transportation of bulky goods within the Czech Republic, as well as transport routes to Austria, Slovenia and other countries of suppliers and customers of oversized cargo were modelled.

The deliveries described below can be eloquent examples of the importance of analysing the main characteristics of oversized cargo to be transported.

From October 23rd to 30th 2003, the first of the Large Binocular Telescope's twin 8,4-meter mirrors was trucked from the University of Arizona's Mirror Lab in Tucson to the 3,190-meter (10,480-foot) Emerald Peak summit of Mount Graham. The two-stage operation required five months of preparation. The first phase began on October 23rd, when the 16-metric-ton mirror and its 33,5-metric-ton steel transport box were loaded onto a truck, early the next morning, the truck hauled the assembly to the Mount Graham International Observatory base camp near the Pinaleno Mountains. The mirror and its 25-vehicle police escort averaged 72 kph as the convoy traversed 196 km. The second and more arduous phase took place from October 27th to 30th. On the 27th the mirror was placed on a massive trailer, and for the next three days the trailer climbed 2,400 meters on a gravel road called Swift Trail at the snail-like pace of 1,6 kph. The trailer rode on 48 wheels, each with its own independent hydraulic system to maintain the mirror's upright posture as the trailer negotiated 47 km of winding road and narrow, hairpin turns. Telescope assembly supervisor inspected every foot of the road beforehand, and observatory and Arizona Department of Transportation staffers smoothed over bumps and ruts in the gravel².

² Naeye, R. Trucking the World's Largest Telescope Mirror. November 7, 2003. [Electronic resource]: <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/trucking-the-worlds-largest-telescope-mirror/>. Last accessed 02.12.2022.

In 2001, Bagger 288 (Excavator 288, a bucket-wheel excavator or mobile strip mining machine) made a 22-kilometre (14 mi) trip from Tagebau Hambach mine to Tagebau Garzweiler. Three weeks needed for travelling across Autobahn 61, the river Erft, a railroad line, and several roads. The move required a team of seventy workers. Rivers were crossed by placing large steel pipes for the water to flow through and providing a smooth surface over the pipes with rocks and gravel. Special grass was seeded to smooth its passage over valuable terrain. Moving Bagger 288 in one piece was more economical than disassembling the excavator and moving it piece by piece³.

Thus, without this stage of analysis it is impossible to plan and prepare further stages of preparation for transportation. Mistakes made at this stage can lead to unforeseen situations at subsequent stages of delivery of oversized cargo.

Precise information about the physical and chemical parameters of oversized cargo is preferably to be obtained from the cargo manufacturer. Subsequently, this information is also required for the stage of paperwork (obtaining permits, drawing up contracts, and so on).

Software product planning the process of delivery should develop a section that collects and reflects the main physical and chemical parameters of the object to be transported (a kind of a reference book), which will subsequently be applied in the algorithms for calculating the corresponding coefficients, which ultimately determine the optimal choice of vehicle for transportation of oversized cargo. Also, the section with primary data about the object will be used for automatic filling of documents.

The *second stage* is clarification of the criteria for the transportation process specified by the customer.

The most important criteria for transportation are cost, speed, safety, and reliability. Depending on the requirements of the customer, experts and supervisors organising transportation must either focus on one or another criterion, or find the optimal ratio between them.

If the customer considers speed to be the main criterion for delivery of oversized cargo,

then the specialist of the carrier's logistics company applies the automated program to select a scheme in which the algorithm is based on the choice of air or road transport, since these modes of transport differ favourably from rail and sea transport in terms of speed of cargo delivery. At the same time, the program should immediately correlate this second stage with the first stage, so that the cargo can be physically placed on the selected vehicle, considering obstacles along the route.

An example of that kind is transportation of the American Space Shuttle Endeavour: the cargo was secured on top of the Boeing 747, which was specially prepared for such transportation⁴.

If the customer put forward not the speed of delivery, but the cost indicator as the main criterion, then the carrier's specialists choose an algorithm aimed at reducing the cost of delivery, that is a cargo delivery scheme in which water and railway transport are accepted as possible modes of transport during transportation (when using them, delivery rates for longer distances are lower), or the program will offer the best road vehicles (data are taken from the directory of cargo carriers compiled for the third stage of transportation preparation) and other ways to reduce costs.

It is possible that the main condition for transportation of oversized cargo is safety and reliability. In this case, an automated transportation preparation scheme is selected with a proposal of options and cost calculation for special precautions for safety of the cargo: protection of the cargo with the help of awnings or transportation only during certain seasons (time of day) and under favourable weather conditions (in the absence of rain, snow, wind, poor visibility). In this part of the computer program, it is advisable to introduce an automated subsystem of weather forecast in the specified area, with the ability to select statistical data for past periods (today this is open access, fairly accurate information that can be taken from Internet resources).

Such a scheme, for example, is relevant when transporting oversized optical instruments (mirrors or lenses for large telescopes).

To ensure reliability of delivery when automating the process, it is appropriate to take

³ Magnificent monstrous machines. [Electronic resource]: <https://constructiontimes.co.in/magnificent-monstrous-machines/>. Last accessed 02.12.2022.

⁴ E.g.: [Electronic resource]: https://www.nasa.gov/centers/dryden/home/STS-126_status.html. Last accessed 02.12.2022.



the software products of insurance companies as a basis and implement their algorithms for operation of a harmonised transportation planning program (in this case, statistics on reliability of transportation by various modes of transport have already been collected and algorithms for calculating reliability coefficients have been introduced).

Considering the preference of the customer increases one of the final evaluation criteria of the further carried out transportation process which is the quality of transportation.

The *third stage* is selection of a kind and type of a vehicle.

Depending on the parameters specified at the first and second stages, the carrier's specialists must select the most appropriate kind and type of rolling stock for transportation (the program, taking into account the data from the directories, excludes from the results of consideration all types of transport that cannot transport this oversized cargo according to previously specified criteria, leaving only suitable options for further review by specialists).

An example can help to comprehend this step. The tower section of the wind power plant (WPP, e.g., weight – 50 tons, width and height – 4 meters, length – 21 meters) can be transported both by a five-axle extendable semi-trailer-heavy truck and a truck tractor with a lower maximum load, and by a semi-trailer with a large number of axles and a truck tractor with higher maximum load, but the latter option would not be feasible, since the costs of a semi-trailer with a large number of axles and a truck tractor with a higher maximum load are likely to be higher, while a five-axle semi-trailer and a semi-trailer tractor with a lower maximum load can accomplish the delivery. The efficiency of this or that option can be confirmed or refuted with such an important indicator in cargo transportation as the load capacity utilisation factor. The higher is it, the more efficiently the vehicle is used.

Of the proposed program options, the specialist should be able to consider combined transportation options as well, that is the delivery of oversized cargo involving several modes of transport (mixed or combined transportation), since in most cases there are infrastructural, administrative, and other restraints along the way. Also, the total cost of transportation by a single transport mode can

sometimes be higher than transportation using several modes of transport.

Today, almost all major modes of transport have specialised rolling stock for delivery of oversized cargo. For example, there is a type of specialised vessel for transportation of oversized cargo – a semi-submersible vessel (SEMI), which is initially in a semi-submerged state (due to its partial submerging by filling the vessel's special locks with water) for convenience of loading oversized cargo onto the deck, and when water is pumped out, then the deck rises and the oversized cargo remains on the dry deck [7].

In multimodal (mixed) transportation, the specialist of the carrier company must not only book the rolling stock, but also prevent a situation where, with the planned use of railway, water, air transport, the selected mode of transport will not be able to accept the cargo.

So, for example, in case of a WPP section, the latter can be placed on water rolling stock, but cannot be placed on an air or railway one. Or, for example, when unloading such a WPP section in the port, it turns out that road transport does not correspond to the brought cargo (in terms of carrying capacity or cargo capacity).

Thus, the specialist must make sure with the help of the program that all vehicles participating in multimodal transportation will be suitable for transportation of one or another oversized cargo.

Also, the specialist of the carrier's company needs to determine whether it is worth buying, hiring, or leasing rolling stock.

Activities related to this stage can be optimised with a harmonised delivery planning program, e.g., through selection of a vehicle due to in-house calculations of the relevant vehicle utilisation factors, application of a filter in the area of the customer's financial capabilities, with the imposition of criteria regarding the specific characteristics of the cargo and its safety, and so on.

A very interesting proposal was made by the specialists of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) in 2019 regarding creation of an information-interactive guide that could be integrated into the transportation planning program proposed for development. The directory helps in development of the project, visualisation of the result, automation of mandatory calculations and budgeting, in preparation, management and control of the transportation process and is a tabular SQL database created based on the

source documents – drawings, sketches, descriptions of manufacturers and suppliers of vehicles, which are available for viewing when creating/editing point models.

All vehicles listed in the directory are divided into types (according to purpose and design schemes for determining axle loads). Each vehicle type is linked to a separate table. All data tables are included in the «Scheme» database managed by the SQL server. The information system is based on network software with transportation design functions based on construction of road train schemes [8].

The *fourth stage* is construction of the route.

At this stage, in addition to using the programs already available today for building routes using GPS navigators, a specialist must consider many factors that can become an obstacle to moving oversized cargo. In the process of developing this stage, each section of the route, as well as the entire route, is separately developed, agreed and approved.

The main obstacles encountered in organisation of transportation of oversized cargo in Russia and abroad comprise traffic signs, road elements and design solutions (lighting, safety islands, raised curbs, railings), bridges, toll booths, power lines and other communication lines, railway crossings and interchanges, exits from production workshops, as well as roundabouts. The above list can be supplemented with a road surface that does not correspond to safe traffic, speed bumps and many other infrastructure facilities [9].

In addition to the listed obstacles, restraints can be linked to landscape (hills, rivers, and so on). Consideration of all these factors also affects the choice of rolling stock, so this stage is closely related to the previous one.

Given the analysis of obstacles to the best route of transportation, a specialist who develops transportation using software must also consider alternative routes.

For multimodal transportation, it is necessary to link the route with cargo transshipment points (it is proposed to include a database on such transshipment points in the program).

So, for example, not every port will be able to accept oversized cargo, due to the lack of the necessary equipment – this may affect construction of the final version of the route and result in a possible refusal to use one or another mode of transport, due to the lack of suitable infrastructure along the route to service it.

In 2017, international experts proposed a system of criteria for assessing the route for transportation of heavy and oversized cargo: when planning a route, it is proposed to compare the product of certain weights of the criteria and the points assigned to the influence of factors. As a result, the optimal route of cargo transportation is determined [10; 1].

The same year, the domestic software developer K. A. Kononov patented a software product – «Multimodal transportation management system», which is designed to automate planning and accounting of multimodal transportation of goods. «The program provides client access to registration of requests for transportation to cargo owners, allows controlling the execution of delivery stages, settlements with customers and suppliers, has the ability to exchange data with partner systems in EDIFACT and ANSI standards» [11].

This kind of software development can be used in the software proposed for development for planning transportation of oversized cargo.

The *fifth stage* is analysis and drafting of accompanying documentation.

The process of delivery of oversized cargo includes as an integral part drafting of a package of accompanying documents: contracts, bills of lading, accompanying documents concerning the vehicle used, permits from various state, municipal, customs and other authorities.

This stage is time-consuming even for an experienced expert: inconsistencies in the laws of various countries, the number of documents pose a problem for carriers of all the countries.

In some cases, it is impossible to transport cargo without obtaining specific permits.

In case of international multimodal transportation, the list of documents increases many times [12], therefore, this stage requires good expertise in organising transportation, complemented, possibly, by consultation of narrow specialists. Often, carrier companies outsource the work associated with this stage.

When automating this process, it is proposed to introduce a separate section into the software, which will be maintained by specialists in this field, and the results and deadlines for obtaining documentation will be displayed in the general summary section of the program for the planned transportation of oversized cargo.

Automated route coordination can be carried out by using a single system of interdepartmental



electronic interaction using an electronic digital signature (in many Russian systems of public administration, this experience is already being developed and has positive feedback, for example, in the tax system, electronic digital systems of Rosreestr [Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography of the Russian Federation] and Rosimushchestvo [the Federal Property Management Agency]. The declared route, if necessary, can be much easier to correct and coordinate with all the owners of the roads along which this route passes, the balance holders of artificial structures (tunnels, power lines, elevated pedestrian crossings), railway departments if there is a railway crossing on the route. As a result, the user of the program receives a special permit on paper or electronic media, which details the agreed transportation route, with the official names of sections of highways and their identification numbers [13].

Additionally, the proposed program can include a subsystem for monitoring and controlling compliance with the approved transport process plan for prompt elimination of errors and obstacles if they occur directly during transportation of oversized cargo. Despite the fact that preparation for delivery of oversized cargo can take up to several months, during its implementation, unforeseen problems may still arise, which specialists will have to quickly solve, directly in the process of delivery.

Back in 2015, Compass Moscow Design Bureau patented a program for monitoring transportation of special, dangerous, oversized and heavy cargo by road [14], which potentially has the ability to monitor compliance with route and schedules of transportation; analyse information about violations of assigned route and schedules of transportation; timely inform emergency operational services about emergencies and terrorist acts.

At the same time, in 2015, A. D. Krutikhin patented the Vehicle Traffic Monitoring Program «Transport Control» [15], which has additional functions for accounting for consumption of fuels and lubricants necessary for transportation, «maintaining directories of vehicles, drivers, warehouses and delivery points, waybills, as well as a set of control points describing movement of vehicles; path length calculation» [15].

Also today, motor transport enterprises widely use software products based on the

GLONASS system and modern satellite equipment.

Thus, automated control subsystems for creating a harmonised automated system for transportation of oversized cargo already exist, have alternatives, and there are also specialists who can introduce these programs into the program proposed for development.

As a result, the algorithm of the operation of the program to prepare for transportation of oversized cargo can be represented in the following, simplified form, shown in Pic. 1.

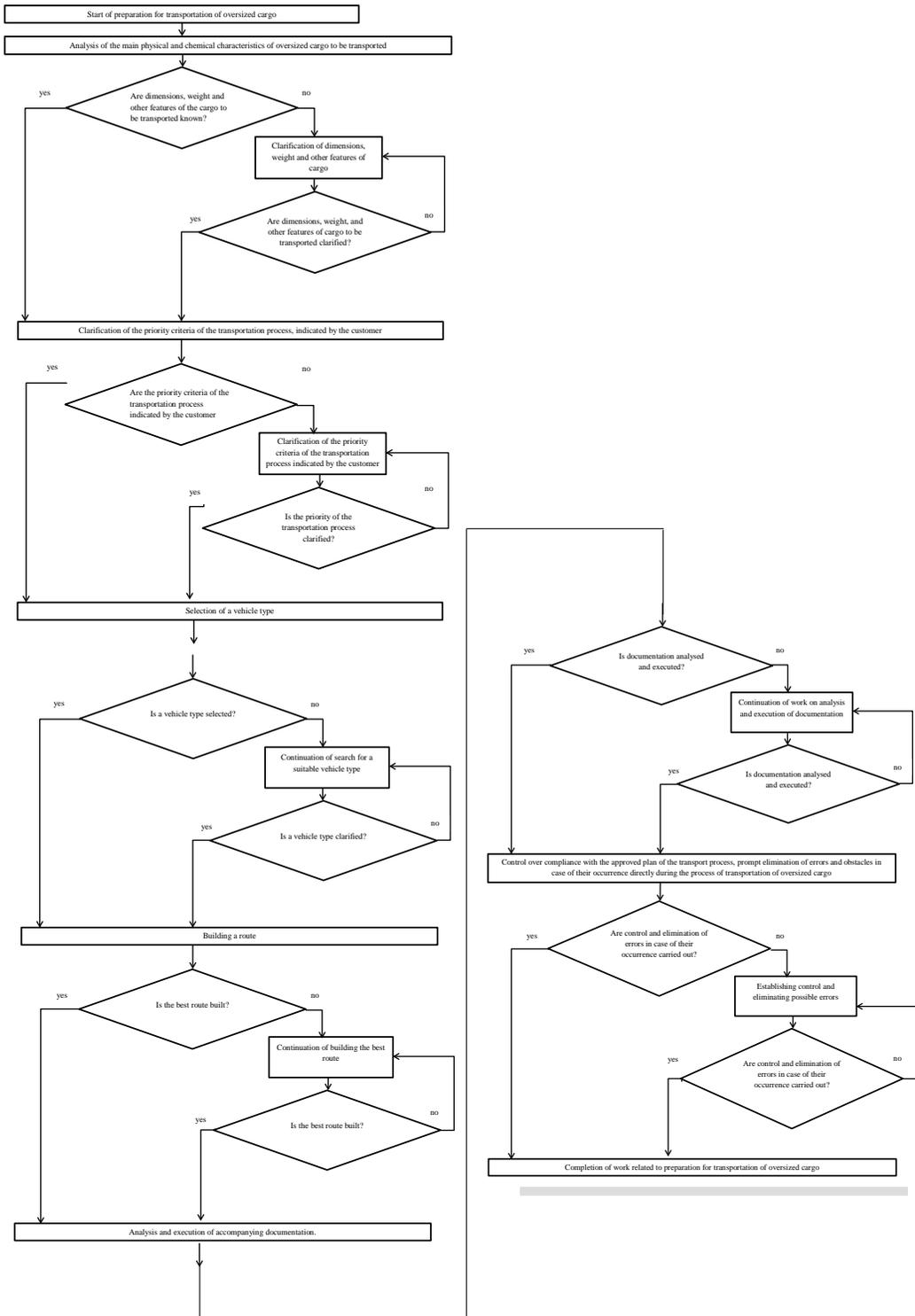
CONCLUSION

Upon consideration of the topic of developing a harmonised algorithm for the automated preparation of the process of transporting oversized cargo, an algorithm for operation of automated program is suggested for planning the stages of the transportation process, including:

1. Analysis of dimensions and weight of oversized cargo to be transported.
2. Clarification of the criteria of delivery process indicated by the customer.
3. Analysis of the obstacles on the proposed route.
4. Selection of mode and type of vehicles.
5. Building final route.
6. Drafting documents.

With automation and implementation of the proposed algorithm, the efficiency of the process of planning the stages of transportation of oversized cargo will increase due to reduction of the likelihood of planning and implementation errors (unplanned factors of various origins: physical, natural, infrastructural, administrative, etc.) minimising also the risks of negative financial, reputational, and other effects. If software is supported by the state within the framework of, for example, the Digital Economy of the Russian Federation program, then it could solve in a centralised manner the problems of bulky cargo carriers [16] (make the process of obtaining permits transparent; harmonise the types of documents for this type of transportation; reduce the time for paperwork, selection of routes, carriers; strengthen control over the provision of state and municipal services in the field of transportation; identify conscientious and competitive carriers in this service market, and so on).

The development and implementation of the proposed project of a software product can



Pic. 1. Algorithm of program operation.



become a new high-quality digital economy service.

Summarizing the above, it is concluded that:

1. In the field of cargo transportation of oversized cargo, software is in high demand (it is confirmed by attempts to create a single, universal software abroad and digitalisation of individual stages of transportation in Russia). However, the software product proposed for development requires a considerable investment of financial resources, which is within the power of either large companies (an alliance of companies) or the state.

2. Today, there are many different disparate software products that can become components of the universal program proposed for development, covering all stages of preparation for transportation of bulky cargo (in accordance with the algorithm described in the article). When attracting IT experts, it is possible to combine already developed software products into one whole.

3. The proposed algorithm of the software product is universal for all modes of transport when transporting oversized cargo.

REFERENCES

1. Wolnowska, A., Konicki, W. Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 39 (41), pp. 614–623. DOI: 10.1016/j.trpro.2019.06.063.
2. Lingkui, Meng; Zhenghua, Hu, Changqing; Huang; Wen, Zhang; Tao, Jia. Optimized Route Selection Method Based on the Turns of Road Intersections: A Case Study on Oversized Cargo Transportation. *International Journal of Geo-Information*, 2015, Vol. 4 (4), pp. 2428–2445. DOI: 10.3390/ijgi4042428/.
3. Galor, W., Galor, A. Oversize cargo transport in the Polish part of South Baltic region. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2011, Vol. 18, Iss. 3, pp. 99–106. [Electronic resource]: <https://kones.eu/ep/2011/vol18/no3/13.pdf>. Last accessed 02.12.2022.
4. Ostaparchenko, E. A. Methodological approach for drawing up transportation chains of oversized and heavy lift cargo. Information reference system for visual design and transportation of mechanically loaded and oversized cargo. *Transportnoe delo Rossii*, 2018, Iss. 5, pp. 134–137. [Electronic resource]: https://elibrary.ru/download/elibrary_36307849_58320290.pdf. Last accessed 02.12.2022.
5. Danilov, G. Yu. Automation systems for calculating multimodal cargo transportation [Sistemy avtomatizatsii rascheta multimodalnoi pervozki gruz]. *Proceedings of VII All-Russian scientific and technical conference. North Caucasian Federal University*, 2018, Vol. 2, pp. 92–94. [Electronic resource]: [https://www.ncfu.ru/export/uploads/](https://www.ncfu.ru/export/uploads/Dokumenty-Nauka/materialy-VII-konferencii-studencheskaya-nauka-dlya-razvitiya-informacionnogo-obshchestva_chast-2_26-28.12.2017.pdf)
6. Petrū, J., Krivda, V. The Process of Setting the Parameters for Ensuring Passage of Oversized Cargos. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2019, Vol. 14 (3), pp. 425–442. DOI: 10.7250/bjrbe.2019-14.451.
7. Chmieliński, M. Safety of Oversize Cargo in Ports and in the Sea Transport. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2017, Vol. 17, Iss. 1, pp. 151–157. DOI: 10.12716/1001.11.01.18
8. Matorin, M. A., Maksimych, O. I., Rogova, O. B. Information and reference system visual design and ensure transportation of mechanically loaded and oversized cargo. *Proceedings of the 77th scientific, methodological and research conference MADI «Automation and control of technological processes and industries in construction and transport»*, 2019, pp. 101–110. [Electronic resource]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_37400182_33734261.pdf. Last accessed 02.12.2022.
9. Petrū, J., Krivda, V. The Transport of Oversized Cargoes from the Perspective of Sustainable Transport Infrastructure in Cities. *Sustainability*, 2021, Vol. 13 (10), pp. 5524. DOI: 10.3390/su13105524.
10. Petraška, A., Čiziūnienė, K., Jarašūnienė, A., Maruschak, P. Algorithm for the assessment of heavyweight and oversize cargo transportation routes. *Journal of Business Economics and Management*, 2017, Vol. 18 (6), pp. 1098–1114. DOI: 10.3846/16111699.2017.1334229.
11. Konovalov, K. A. Multimodal transportation management system // Federal Service for Intellectual Property / Number of registration (certificate) 2017615325, registration date 12.05.2017.
12. Macioszek, E. Conditions of oversize cargo transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 2019, Vol. 102, pp. 109–117. DOI: 10.20858/sjsutst.2019.102.9.
13. Smirnova, O. Yu., Ertman, Yu. A. Digital technologies in organization of transportation of excess cargo by road [Tsifrovie tekhnologii pri organizatsii pervozki sverkhnormativnykh gruzov avtomobilnym transportom]. *Scientific peer-reviewed journal «Vestnik SIBADI»*, 2022, Vol. 19, Iss. 2, pp. 236–244. [Electronic resource]: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/1436/757>. Last accessed 02.12.2022.
14. Nosov, S. V., Ilyichev, R. V., Kapralov, A. A., Batrakov, A. A., Kovtunenkov, K. A., Abramov, I. V. The program of the subsystem for monitoring transportation of special, dangerous, bulky heavy cargo by road. Federal Service for Intellectual Property. Number of registration (certificate) 2015663615, date of registration 25.12.2015. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/sadzkm>. Last accessed 02.12.2022.
15. Krutikhin, A. D. Vehicle traffic monitoring program «Transport Control». Number of registration (certificate) 2015663352, date of registration 16.12.2015 // Federal Service for Intellectual Property.
16. Budrina, E. V. Introduction of innovative technologies in the field of transportation of oversized and heavy cargo. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, Iss. 3 (70), pp. 39–45. [Electronic resource]: https://viewer.rusneb.ru/ru/0001199_000009_07000431135?page=40&rotate=0&t_heme=white. Last accessed 02.12.2022.

Information about the author:

Kopylov, Maksim A., Ph.D. student of Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, dorothej@mail.ru.

Article received 02.12.2022, approved 23.01.2023, accepted 03.03.2023.

T



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

238

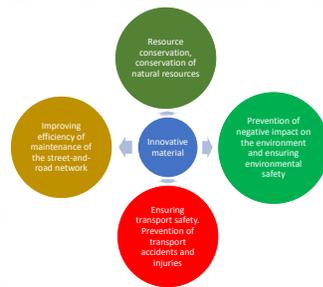
Monitoring transport related SDGs: international and national practices.



ANTI-ICING REAGENTS

246

Search for new solutions to comply with road and environmental safety.



SAFETY AND SUSTAINABILITY





Tracking Availability of SDG 9.1 Indicators Regarding Transport Infrastructure Using the Example of G20 Member Countries



Anna V. SARGINA



Nadezhda V. SEDOVA

Anna V. Sargina ¹, Nadezhda V. Sedova ²

¹ JSC Ramax International, Moscow, Russia.

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia.

✉ ¹ anna.sargina@mail.ru.

ABSTRACT

The increased interest in implementation of the sustainable development agenda requires an objective assessment of the success of progress towards the set sustainable development goals and objectives.

The objective of the study described in the article is to consider the availability of transport indicators for SDG 9.1 («Develop high-quality, reliable, sustainable and resilient infrastructure, including regional and cross-border infrastructure, in order to support economic development and human well-being, with particular attention to ensuring affordable and equitable access for all») on the example of G20 countries, as well as to assess the completeness of the data provided by the

countries. The information and empirical base of the study is based on data from the United Nations Economic Commission for Europe and Federal State Statistics Service of the Russian Federation. The study used general scientific methods of analysis, synthesis, and classification.

The result of data processing is an assessment of data availability and calculation of the data completeness index for G20 countries. The authors proposed additions to the monitored indicators in terms of the volume of passenger and cargo transportation by modes of transport, and also substantiated the need to introduce a new indicator «volume of investment in infrastructure by mode of transport».

Keywords: SDG, sustainable development, infrastructure, transport infrastructure, volume of passenger transportation, volume of cargo transportation, volume of investment in infrastructure.

For citation: Sargina, A. V., Sedova, N. V. Tracking Availability of SDG 9.1 Indicators Regarding Transport Infrastructure Using the Example of G20 Member Countries. World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 238–245. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-12>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development with updated goals started on January 1, 2016¹. Transport plays an important role in its implementation. There are a number of sustainable development goals (hereinafter referred to as SDG) that are directly related to transport, including SDG 9 on sustainable infrastructure and SDG 11 on sustainable cities. In addition, sustainable transport makes it possible to realise almost all of the SDG through the provision of connectivity and accessibility of territories.

Goal 9 «Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and innovation» includes eight targets and 12 indicators. The United Nations Economic Commission for Europe (*hereinafter* – UNECE) offers a special section on its website for free user access to data on implementation of SDG [1]. SDG 9 tracks 10 out of 12 indicators across 56 countries. No data are available for indicators 9.1.1 «Percentage of rural population living less than 2 km from a road that is passable all year round» and 9.a.1 «Total official international support for infrastructure». An analysis of the description of the metadata shows that the units of measurement and classification according to these indicators are also missing [2].

Target 9.1 «Develop quality, reliable, sustainable and resilient infrastructure, including regional and cross-border infrastructure, to support economic development and human well-being, with particular attention to affordable and equitable access for all» and, accordingly, indicators 9.1.1 «Percentage of the rural population living less than 2 km from a road that is passable all year round» and 9.1.2 «Passenger and freight volume, by mode of transport» refer to transport in SDG 9.

To improve understanding and knowledge of transport-related SDG, the UNECE Sustainable Transport Division held three workshops in 2017. These workshops allowed the participants to link the achievement of SDG with the national transport policy, to obtain information on statistical tools for accurately measuring and monitoring the implementation of SDG. Global conferences on sustainable transport were held in 2016 and 2021, thematic

¹ Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Electronic resource]: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Last accessed 10.10.2022.

conferences and workshops are also held on regular basis.

Consistent measurement, monitoring of goals, objectives and indicators are among the main tasks in implementation of the sustainable development agenda. Within the framework of SDG in transport, the world academic community is studying rural transport and approaches to measuring accessibility of transport in rural areas (based on data from geographic information systems), methods for calculating indicators at the country and city levels, accessibility of urban transport infrastructure, and quantifying the environmental and social impacts of SDG 9.1, sustainability of port infrastructure and other topical issues [3–12].

The *objective* of the study is to consider availability of transport indicators 9.1.1. and 9.1.2. within SDG 9 on the example of G20 countries, as well as to assess the completeness of data provided by countries.

The information and empirical base of the report is represented by the UNECE and Rosstat [Russian State Federal Statistics Service] data. Research *method* is focused on processing empirical data, comparative analysis and classification.

RESULTS

Analysis of Measured Indicators

SDG 9 in terms of transport tracks two indicators: 9.1.1 «Percentage of the rural population living within 2 km of a year-round road» and 9.1.2 «Passenger and freight volume, by mode of transport». The UNECE database does not contain information on indicator 9.1.1. Indicator 9.1.2 is tracked for each mode of transport separately. As of October 2022, the following data is available:

(a) Cargo transportation volume (railway transport).

(b) Cargo transportation volume (road transport).

(c) Cargo transportation volume (inland water transport).

(d) Passenger transportation volume (passenger cars).

(e) Passenger transportation volume (railway transport).

At the same time, the Glossary for transport statistics, compiled as a result of cooperation between the UNECE, the International Transport Forum and Eurostat, contains definitions of many



indicators in the sections of railway transport, road transport, inland water transport, maritime transport, air transport [14]. An analysis of the metadata description shows that the main data providers are the International Civil Aviation Organization (ICAO); International Transport Forum (ITF); United Nations Economic Commission for Europe (UNECE); United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) [2]. For the purposes of monitoring the volume of passenger and cargo transportation, data on passenger-kilometres should be allocated between air, road (disaggregated by cars, buses, and motorcycles) and railway transport, and data on tonne-kilometres should be allocated between air, road, rail and inland water transport.

According to the 2017 High-level Political Forum on sustainable development Thematic Review, investments in infrastructure and technology that simultaneously reduce time, labour costs, reduce carbon emissions and create jobs are key to achieve SDG 9 [15]. We do not consider other types of infrastructure in our study, but it is worth noting that investments in infrastructure in general, and in transport in particular, have the potential to support economic growth. There are significant differences in access to infrastructure, for example, about a third of the world's population does not have year-round roads. Most of the discussions and initiatives are focused on large-scale infrastructure. However, limited attention is paid to last mile infrastructure requirements, such as reducing urban-rural disparities in terms of quality and access, and supporting local food systems (as opposed to strengthening the infrastructural foundations of export-oriented food chains or large urban markets). This bias is also confirmed by the lack of data for indicator 9.1.1 «Proportion of the rural population living within 2 km of a year-round road».

In the scientific community, the issue of measuring indicator 9.1.1 has been studied for a long time. The 2 km accessibility indicator itself was adopted in SDG based on the Rural Access Index (RAI) developed in 2006 by the World Bank.

Eliminating infrastructure imbalances will require significant investment. According to the McKinsey Institute, the global infrastructure investment gap by 2035 worldwide is estimated at \$5,5 trillion, excluding the additional investment needed to achieve the SDG [16]. In this regard, it is especially important to develop

and implement financial instruments for managing and investing in infrastructure projects, as well as monitoring the effectiveness of their use. Particular attention needs to be paid to the sequencing of investments to make the best use of limited public resources and open up new opportunities for the private sector to participate in filling the gaps. The private sector, through well-structured private-public partnerships, can provide an important contribution to infrastructure financing. Ensuring that the public interest is protected while achieving development goals requires close attention. Efforts in this direction can be supported by the use of relevant standards, including standards for conducting a pre-project analysis of investment projects for transport infrastructure, conducting a post-project assessment of implemented infrastructure projects, as well as standards for a hierarchy of indicators of transport infrastructure by mode of transport.

Given the importance of tracking the volume of passenger and cargo transportation across all modes of transport, as well as the criticality of the issue of investment in infrastructure, we suggest considering the possibility to:

1. Add to indicators 9.1.2:

- Cargo transportation volume (sea transport).
- Cargo transportation volume (air transport).
- Passenger transportation volume (inland water transport).
- Passenger transportation volume (sea transport).
- Passenger transportation volume (air transport).

2. Introduce an additional indicator (for example, 9.1.3) «Volume of investment in infrastructure by mode of transport»:

- Volume of investment in infrastructure (railway transport).
- Volume of investment in infrastructure (road transport).
- Volume of investment in infrastructure (inland water transport).
- Volume of investment in infrastructure (sea transport).
- Volume of investment in infrastructure (air transport).

Determining the efficiency of using investments in transport infrastructure is a complex methodological task and can be further studied.

Data Availability Analysis

The UNECE SDG indicators database contains data for 56 countries. There are no such G20 members in the list of 43 countries in the database as Argentina, Australia, Brazil, India, Indonesia, China, Mexico, Saudi Arabia, South Africa, South Korea, and Japan; for the rest of the countries, data are available in varying detail [1]. For Australia, information is available by mode of transport for cargo transportation for 2014–2016 and for passenger transportation for 1999–2016 to 2016 on a separate Australian Government's Reporting Platform on the SDG Indicators [17].

We analysed the availability of data for indicators 9.1.2 for 2016–2020 (data for 2021 and 2022 are not available) for 32 countries. Table 1 shows the availability and completeness of data on monitored indicators in the context of each country. An additional study of the data for the Russian Federation and Malta showed that there were no data for Malta initially (since 2000, when the collection began), for the Russian Federation there are data in varying completeness for the period from 2000 to 2013, since 2014 there are no data.

Based on available data, we calculated a data availability index for each country for SDG 9.1.2 indicators and grouped the results into five groups (Table 2).

Complete data is available for Croatia, the Czech Republic, Finland, France, Hungary; for Italy, there are no data on the volume of cargo transportation (inland water transport) for 2021. These countries are classified in Group 1. In group 2, all countries except Germany and Latvia have no data on the volume of passenger transportation (cars). For Latvia, there are no data on the volume of cargo transportation by inland water transport; however, based on the materials of the UNECE Committee on Inland Transport dated July 28, 2003, at the sixty-fifth session, the issue of the project «Transit route Daugava (Western Dvina)–Dnieper» connecting the Baltic and Black Seas was raised [18]. As of 2022, the project has not been initiated. This suggests that missing data should be replaced by zeros, which would allow Latvia to be moved to Group 1 with 100 % data provision. However, due to the fact that the basis for the analysis is statistical information from the UNECE databases, we do not consider it right to transfer the country to another group. It may be worth adding additional methodological clarifications to the description

of metadata, on the subject of how to display data if they are not applicable to the country.

Let us dwell separately on the indicator concerning the volume of passenger transportation by cars (passenger transportation on the national territory by cars registered in the reporting country), measured in passenger-kilometres per car [1]. Of 32 countries, eight have partial and eight complete data, and information is missing for 16 countries. This significant lack of data may be due to the nature of data collection at the national level: data may either be incomplete or not available in countries' statistical systems.

Analysis of Data Availability for the Russian Federation

For the Russian Federation, there are no data in the UNECE database since 2014. At the same time, traffic data is regularly published by Rosstat. Thus, although data are available, they are either not updated (last data available on pages <https://w3.unece.org/SDG/en/Indicator?id=89> et al. were as of 2013) or are not shown in the UNECE SDG that refers in turn to database of UNECE Transport Division Database. At the same time the UNECE page contains a link to national Web platform on data for SDGs, that leads to relevant Rosstat page in English Pocerara² [19].

Rosstat, on the basis of the Decree of the Government of the Russian Federation of June 6, 2017, No. 1170-r, is responsible for official statistical information on SDG indicators. The section «Sustainable Development Goals» on the website of Rosstat contains general information about SDG, a detailed list of indicators with the current status of their development, and metadata.

In terms of implementation and monitoring of SDG 9, nine indicators are available [20]:

1. Cargo turnover by mode of transport, billion t-km (all modes and separately for road, rail, air, sea, inland water transport and pipelines).

2. Passenger turnover by types of public transport, billion passenger-km (all modes and separately for rail, sea, inland water, air transport, as well as for transportation by buses, trams, trolleybuses, metro).

3. Density of public railways per 10 000 km² of territory, km.

² [Electronic resource]: <https://eng.rosstat.gov.ru/sdg>. Last accessed 13.03.2023.



	9.1.2 – Freight volume by rail transport, tonne kilometres					9.1.2 – Freight volume by road transport, tonne kilometres				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Croatia	2160	2592	2743	2911	3279	11337	11833	12635	12477	12254
Czechia	15619	15843	16564	16180	15251	50315	44274	41073	39059	56090
Finland	9455	10362	11175	10270	10138	26852	27977	28413	28847	29705
France	34761	35655	34061	33671	31559	157894	170355	171495	173846	170015
Hungary	10528	11053	10584	10625	11595	40006	39687	37948	36951	32223
Italy	22394	22335	22070	21309	20750	112639	112949	124915	137986	133255
Germany	112553	119883	122728	122805	108405	315769	313143	316766	311869	304610
Lithuania	13790	15414	16885	16181	15865	30974	39099	43590	53117	55292
Austria	21361	22256	21996	21736	20498	18091	18400	18594	18905	18732
Netherlands	6641	6467	7026	7018	6665	67785	67532	68906	68336	67592
Poland	50650	54797	59388	54584	51096	290749	335220	315874	348952	354926
United Kingdom	17053	17167	17206	16872	15212	159555	158410	163764	165499	145520
Bulgaria	3434	3931	3824	3902	4503	35402	35185	27002	20614	32566
Latvia	15873	15014	17859	15019	7979	14227	14972	14997	14965	13705
Romania	13535	13782	13076	13312	12291	48175	54704	58761	61041	55026
Slovakia	9111	8486	8691	8480	7268	36106	35362	35590	33888	31591
Denmark	2574	2653	2594	2524	2450	15956	15515	14989	14991	14685
Sweden	21406	21838	23358	22717	22094	42685	41848	43474	42601	43183
Türkiye	11010	11851	13734	..	15571	253139	262739	..	..	272913
Portugal	2774	2751	2765	2478	2402	34684	34073	32676	31087	24402
Estonia	2340	2325	2595	2155	1729	6717	6189	5783	4794	4281
Slovenia	4360	5128	5151	5292	4726	18714	20814	22225	..	22662
Spain	10550	10418	10650	10710	8920	216993	231105	238991	249555	242265
Canada	395889	423664	448319	451277	420233	294716	299858	269285	..	..
Ireland	102	100	88	72	..	11564	11759	11537	12403	11383
Belgium	..	..	..	..	..	35579	34219	32684	34829	34506
Greece	254	358	408	490	..	20903	..	..	..	..
United States	2326216	2445138	..	..	..	..	..	..	..	..
Cyprus	..	..	..	..	..	703	828	892	858	709
Luxembourg	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Malta	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Russian Federation	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Source: compiled by the authors based on UNECE data [1].

Table 1

on UNECE Website for SDG indicators 9.1.2

9.1.2 – Freight volume (Inland waterway transport), tonne-kilometres					9.1.2 – Passenger car, passenger kilometres (millions)					9.1.2 – Passenger rail, passenger kilometres (millions)				
2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
836	813	678	835	903	26181	26189	25594	25372	20215	836	745	756	734	449
36	25	23	32	18	72255	74327	77971	81179	68936	8843	9498	10286	10931	6665
103	120	120	122	127	57006	66607	66800	66800	64100	3868	4271	4535	4924	2820
8135	7311	7089	7855	6806	783085	789372	786793	779810	629846	91832	95024	91818	96540	56606
1976	1992	1608	2120	1998	57354	60645	63947	67034	63921	7653	7731	7770	7752	4854
67	61	74	69	..	704542	744919	722894	732429	488299	52178	53231	55493	56586	22269
54347	55518	46901	50919	46338	952332	922738	921900	899577	809319	94197	95530	98161	..	..
0	0	0	0	0	25854	31361	30119	..	..	280	315	354	359	237
1962	2022	1489	1715	1606	80444	81795	..	..	..	12578	12657	13205	13350	7417
49399	48998	47244	47581	45184	..	138700	..	..	..	18531	18438	18895	19353	9164
105	108	119	84	77	213318	..	..	..	..	19175	20318	21043	22055	12487
108	99	93	187	87	667526	..	..	..	..	68010	68912	69706	1978	25074
5477	5280	4858	5867	6256	..	..	..	..	..	1458	1438	1479	1524	1119
..	..	..	..	..	13899	14979	15257	15501	14775	584	596	624	643	413
13153	12517	12261	13957	13638	..	..	..	..	..	4988	5664	5577	5906	3720
903	933	778	937	834	..	..	..	..	..	3595	3873	3915	4093	2180
..	..	..	..	..	58781	59736	60417	..	58226	6119	6061	5939	5913	3755
..	..	..	..	79	..	..	..	..	..	12800	13331	13547	14617	8129
..	..	..	..	..	213853	..	229439	240517	215296	4325	4567	5560	14259	8297
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	4146	4391	4487	4964	2552
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	316	366	417	392	263
..	..	..	..	..	..	10213	..	..	..	680	650	656	698	397
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	26532	27381	28442	28847	12060
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1409	1561	2055	1729	235
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2173	2306	2598	2704	..
10331	11098	11357	7819	7388	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1192	1112	1104	1253	640
445280	..	..	..	..	..	..	..	..	..	35828	33259	31963	32483	..
..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	417	438	443	463	269
..
..



**Grouping countries based on data availability index
in UNECE database (data since 2016 and later)**

Group	Countries	Data availability index, %	Number of missing indicators
1	Croatia, Czech Republic, Finland, France, Hungary, Italy	96–100	0
2	Germany, Latvia, Austria, Netherlands, Poland, Great Britain, Bulgaria, Latvia, Romania, Slovakia	80–95	1
3	Denmark, Sweden, Turkey, Estonia, Slovenia, Spain, Portugal	60–79	2
4	Canada, Ireland, Belgium, Greece, USA, Cyprus, Luxembourg	20–59	3
5	Malta, Russian Federation	0	5

Source: compiled by the authors based on UNECE data [1].

4. Density of public roads with hard surface per 1 000 km² of territory, km.

5. Share of motor roads of regional significance that meet regulatory requirements, %.

6. Share of motor roads of regional or intermunicipal significance that meet regulatory requirements.

7. Total length of local roads.

8. Share of local roads that meet regulatory requirements.

9. Index of the quality of transport infrastructure as compared to the level of 2017.

Also, publication of data on one more indicator («Proportion of vehicles in urban agglomerations (buses, trams, trolleybuses, suburban railway rolling stock) updated within the federal project «Modernization of passenger transport in urban agglomerations» and having a service life not older than the standard») was attended not earlier than April 2023.

The figures for cargo and passenger turnover by mode of transport contain data from 2010 to 2021. Thus, the data is available in the Rosstat system, but not in the UNECE database.

It should be noted that the list of indicators considered in Russia is much wider than the official UN list and contains more detailed statistical information on railways and roads, as well as on the transport infrastructure quality index calculated from 2018.

RESULTS

The indicators used by UNECE to track SDG 9.1 are incomplete. It is advisable to expand them to cover all modes of transport, as well as to supplement them with indicators of the volume of investment in infrastructure by mode of transport. We propose to expand the list with the following ten indicators:

1. 9.1.2 Volume of cargo transportation (sea transport).

2. 9.1.2 Volume of cargo transportation (air transport).

3. 9.1.2 Volume of passenger transportation (inland water transport).

4. 9.1.2 Volume of passenger transportation (sea transport).

5. 9.1.2 Volume of passenger transportation (air transport).

6. 9.1.3 (a) Volume of investment in infrastructure (railway transport).

7. 9.1.3 (b) Volume of investment in infrastructure (road transport).

8. 9.1.3 (c) Volume of investment in infrastructure (inland water transport).

9. 9.1.3 (d) Volume of investment in infrastructure (sea transport).

10. 9.1.3 (e) Volume of investment in infrastructure (air transport).

The absence of data in the UNECE database does not mean that the country does not calculate the indicated indicators. On the example of the Russian Federation, we have shown that the data are present in the national statistical reporting, and in a more detailed version. It is not excluded that the similar situation concerns as well some other countries.

CONCLUSION

The underdevelopment of transport leads to increased trade costs, reduced export competitiveness and lower country's attractiveness for investment. It is impossible to develop high-quality, reliable, sustainable, and resilient infrastructure without monitoring the performance of all modes of transport and assessing the volume of investments in transport infrastructure. The number of indicators tracked in the UNECE database for SDG 9 is insufficient and needs to be expanded.

Each country can decide whether or not to account values of indicators at the country level and whether to report data on them, however, the incompleteness of the data does not allow assessing the comparative dynamics in achieving the set goals and targets.

The expansion and unification of indicators for all countries will give a clearer understanding of progress in achieving the goals and objectives set for each mode of transport, as well as provide a comparative basis for decision-making in terms of priority areas for investment in transport infrastructure.

REFERENCES

1. Dashboard for SDGs. UNECE. [Electronic resource]: <https://w3.unece.org/SDG/ru>. Last accessed 14.10.2022.
2. SDG Indicators. Metadata repository. [Electronic resource]: SDG Indicators – SDG Indicators (un.org). Last accessed 08.11.2022.
3. Workman, R., McPherson, K. Measuring rural access for SDG 9.1.1. Transactions in GIS. [Electronic resource]: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/tgis.12721>. Last accessed 08.11.2022.
4. Cook, J. Engineering Geology Research and Rural Access in Support of United Nations Sustainable Development Goals. In: Shakoor, A., Cato, K. (Eds.) IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, Springer, Cham., 2018, Vol. 6. [Electronic resource]: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93142-5_3. Last accessed 08.11.2022.
5. Xu, J., Bai, J., Chen, J. An improved indicator system for evaluating the progress of sustainable development goals (SDGs) sub-target 9.1 in county level. *Sustainability*, 2019, Vol. 11 (17), 4783. [Electronic resource]: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4783>. Last accessed 08.11.2022.
6. Meira, L. H. [et al]. Measuring the Impact of Brazilian Transport Systems on the 2030 Agenda Goals. *Journal of Sustainable Development*, 2021, Vol. 14 (2). [Electronic resource]: <https://doi.org/10.5539/jsd.v14n2p82>. Last accessed 08.11.2022.
7. Mehta, S. Innovation, industry and infrastructure within sustainable development goals: analysis of emerging Asian economies. Sustainability a way forward. Ed. Mor S. Bloomsbury. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Surender-Mor/publication/359188001_Sustainability_A_Way_Forward/links/623f17965e2f8c7a033dd1bd/Sustainability-A-Way-Forward.pdf#page=68. Last accessed 08.11.2022.
8. Azemsha, S., Yasinskaya, V., Hryshchanka, T. Sustainable development in Belarus: Goals for transport and universal access indicator movements. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 2020, Vol. 5 (2), pp. 37–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.14254/jsdtl.2020.5-2.4>.
9. Sieber, N. [et al]. Scoping Study to Explore the Suitability of SDG Indicator 9.1.2 for Rural Access Project, Final Report GEN2173A, London, ReCAP for DFID, 2019. [Electronic resource]: <https://research4cap.org/ral/Siebertetal-2020-ScopingStudySuitabilitySDGIndicator912-FinalReport-ReCAP-GEN2173A-200305.pdf>. Last accessed 08.11.2022.
10. Alamouh, A. S., Ballini, F., Ölçer, A. I. Revisiting port sustainability as a foundation for the implementation of the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs). *Journal of Shipping and Trade*, 2021, Vol. 6, Iss. 19. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41072-021-00101-6>.
11. Brussel, M., Zuidgeest, M., Pfeffer, K., van Maarseveen, M. Access or Accessibility? A Critique of the Urban Transport SDG Indicator. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, Vol. 8 (2), p. 67. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8020067>.
12. Leonie, W. [et al]. Road to glory or highway to hell? Global road access and climate change mitigation. *Environmental Research Letters*, 2020, Vol. 15 (7), 5010. [Electronic resource]: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab58d/meta>. Last accessed 08.11.2022.
13. Meschede, C. Information dissemination related to the Sustainable Development Goals on German local governmental websites. *Aslib Journal of Information Management*, 2019, Vol. 71 (3), pp. 440–455. DOI: <https://doi.org/10.1108/AJIM-08-2018-0195>.
14. Glossary for Transport Statistics, 5th ed. European Union/United Nations/ITF/OECD, 2019. [Electronic resource]: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/10013293/KS-GQ-19-004-EN-N.pdf/b89e58d3-72ca-49e0-a353-b4ea0dc8988f?t=1568383761000>. Last accessed 14.10.2022.
15. 2017 HLPF Thematic Review of SDG-9: Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation. [Electronic resource]: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/documents/14363SDG9format-revOD.pdf>. Last accessed 17.10.2022.
16. Bridging infrastructure gaps: Has the world made progress? [Electronic resource]: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/bridging-infrastructure-gaps-has-the-world-made-progress>. Last accessed 14.10.2022.
17. Australian Government's Reporting Platform on the SDG Indicators. [Electronic resource]: Sustainable Development Goals (sdgdata.gov.au). Last accessed 08.11.2022.
18. Exchange of information on measures aimed at stimulating transport by inland waterways. United Nations Economic Commission for Europe Inland Transport Committee. 28 July 2003 TRANS/SC.3/2003/13. [Electronic resource]: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/documents/14363SDG9format-revOD.pdf>. Last accessed 14.10.2022.
19. UNECE Statswiki. [Electronic resource]: <https://statswiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=396329050>. Last accessed 13.03.2023.
20. National set of SDG indicators, Rosstat. [Electronic resource]: <https://eng.rosstat.gov.ru/sdg/national>. Last accessed 13.03.2023. ●

Information about the authors:

Sargina, Anna V., external Ph.D. student at the Department of National and Regional Economy of Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; EMBA Kingston University, London, Great Britain; Business Architect, corporate systems practice of JSC Ramax International, Moscow, Russia, anna.sargina@mail.ru.

Sedova, Nadezhda V., D.Sc. (Economics), Professor at the Department of National and Regional Economy of Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, nadseva@mail.ru.

Article received 10.11.2022, updated 13.03.2023, approved 15.03.2023, accepted 17.03.2023.





New Approaches to Improving Protection of the Urban Environment from Transport Accidents Based on the Use of Safe Materials



Eduard S. Tskhovrebov

Centre of Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russia.

✉ rebrovstanislav@rambler.ru.

Eduard S. TSKHOVREBOV

ABSTRACT

The relevance of safety problems of a wide range of anti-icing materials and chemical anti-icing reagents used in the municipal economy is predetermined by a number of aspects and factors associated with the negative impact of anti-icing products on the natural environment, property and health of citizens, its lack of effectiveness in terms of ensuring transport safety, preventing causes, conditions of occurrence of transport accidents, the growth of injuries of the population in winter. The objective of the study was to study the possibility of using ash and slag mixtures that are practically harmless to the environment together with organic additives from plant waste as complex anti-icing materials.

The objective of the work was to study possibility of using practically environmentally friendly ash and slag mixtures along with organic additives as complex anti-icing materials. The main tasks comprised comparative analysis of effectiveness and safety of anti-icing materials used, justification of the possibility of

replacing them with ash and slag secondary disposals, assessment of the current situation with handling of ash and slag waste, technical feasibility, environmental acceptability, economic feasibility of their reuse as designated at road transport infrastructure facilities.

The projected results of the study were reduction of the technospheric load on the natural environment, prevention of all types of negative impact on the health of citizens, their personal property, replacement of valuable natural raw materials with secondary ones, prevention of transport accidents and related man-made emergencies. Based on the results of the study, it is planned to conduct full-scale tests and, in case of obtaining positive results that determine safety and effectiveness of the use of a new anti-icing material, to apply for a patent for an invention with further implementation of an innovative proposal in various regions of the Russian Federation.

Keywords: environmental safety, transport accidents, anti-icing material, chemical reagent, ash and slag waste and raw materials, municipal economy, resource saving, emergency situations.

For citation: Tskhovrebov, E. S. New Approaches to Improving Protection of the Urban Environment from Transport Accidents Based on the Use of Safe Materials. *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 246–252. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-13>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

As far as a significant part of the territory of the Russian Federation is concerned, the most difficult period in the work of organisations operating the road transport infrastructure is the winter season. The rate of safe state of coverage of elements of the street-and-road network (SRN) for road users (sidewalks, roadways, underground and ground crossings, pedestrian zones) during this period are determined by the spectrum of road, weather-climatic, sanitary-hygienic, environmental, transport and technological factors.

One of the most important tasks of ensuring transport safety, preventing transport accidents and injuries to the population is to build a well-organised and effectively managed system of measures for monitoring, forecasting, preventing, and timely elimination of winter slipperiness on SRN, which includes mechanical removal of snow masses, the use of solid mineral anti-icing materials and liquid chemical anti-icing reagents as a chemical method for destruction of ice and snow [1–3].

Many years of domestic and foreign experience indicate that chemical anti-icing agents are rather effective means of combating winter slipperiness, but their use entails the need to comply with rational technological consumption rates, safe concentrations, safety and labour protection, control, and monitoring of the level of environmental pollution. When working with such chemically hazardous substances, hygienic requirements regulate the mandatory availability of special clothing and personal protective equipment for the eyes, skin, and respiratory organs [2–4].

An important limiting factor is the negative mechanical, chemical impact of such materials on natural objects and components of the natural environment: dusting and release of toxic compounds to varying degrees into the atmospheric air, washout and further ingress into surface, underground water sources, soil, impact on vegetation, wildlife. According to various expert estimates, the content of chlorides in roadside snow masses exceeds MPC (maximum permissible concentration) by more than 25 times. The content of sodium chloride in the aquatic environment in the range of 100–200 mg/l leads to the death of some plant species, 200–500 mg/l of insects, reptiles, more than 1 g/l of aquatic biological resources. Salinisation of water and soil is a stress factor in the habitat of

flora. Even very low salt concentrations (10–20 mg/l) have a negative effect on the root system. Depending on endurance of flora species, salinity disrupts the metabolism of plants, affects the growth, reproduction, and settlement of their species. Negative factors form threats to the state of ecological safety of populated areas, which, in turn, dictates the need to allocate additional financial costs for monitoring, warning, and eliminating dangerous effects of anti-icing materials [5; 6].

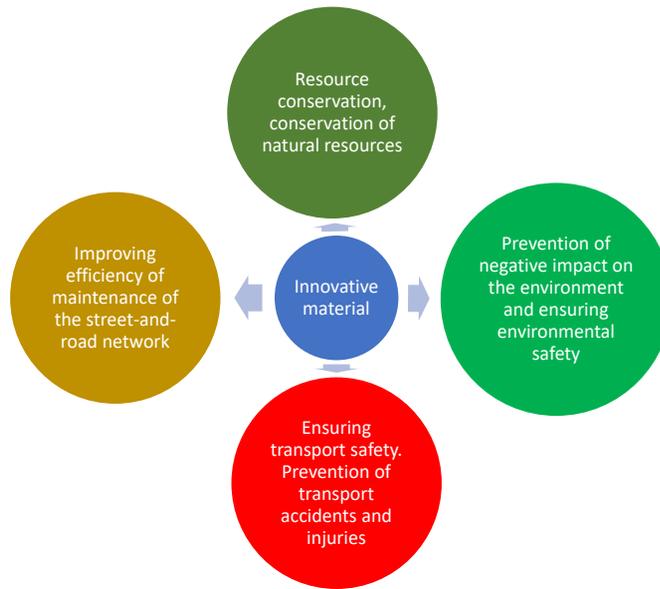
Considering the current situation, the work examines environmental acceptability, economic and technical feasibility of replacing the anti-icing materials now in use with the products of processing ash and slag mixtures formed during combustion of solid coal fuel at thermal power plants (TPP) and boiler houses.

The proposed idea of using ash and slag waste (ASW) for the purpose of ensuring safety of road transport infrastructure, preventing transport accidents allows reuse of a significant amount of accumulated ASW in storage facilities of energy enterprises. As of 2017, the amount of accumulated ASW in our country reached 1,5 billion tons, occupying an area of about 28000 hectares in the form of open ash and slag dumps, which significantly pollute water and land resources, atmospheric air, and surrounding vegetation. At the same time, their annual output is estimated by experts in the range of 22–23 million tons, which gives reason to conclude that the reuse of these wastes is relevant to prevent negative environmental impacts. This problem continues to be one of the most pressing in the fuel and energy complex. The current situation is practically not improving: the reuse of ASW is about 2,5 million tons per year (no more than 10 % of the annual amount of their formation) [7–10; 13–15].

The analysis of world practice of ASW processing indicates the presence of developments related to the use of ash and slag raw materials in construction industry, the road sector [11–14], however, no information has been found on the use of such raw materials for the purpose under consideration.

Economic feasibility of the proposed idea is favoured by the low cost of ash and slag raw materials as a commodity, but this is not the sole reason. Replacing traditional raw materials based on non-renewable mineral reserves with secondary raw materials from ASW contributes to implementation of the strategic goal of





Pic. 1. Planned result from introduction of innovation [performed by the author].

Russia's sustainable development based on the principles of resource conservation and rational use of natural resources.

Thus, relevance, novelty and practical significance of the ongoing research is predetermined by its idea and plan for implementation of several important scientific and practical tasks. The planned result from introduction of innovative material is presented in the scheme developed by the author (Pic. 1).

Materials and Methods of Research

The study was based on the published works of scientists, specialists, researchers in the field of transport safety, prevention of transport accidents, related emergency situations of a man-made nature, the practices of using solid mineral anti-icing materials and chemical anti-icing reagents [1–4], in the field of processing, re-use of ASW, organic substances from plant materials and waste [11–15], own results of research in the field of waste management and secondary resources, including in housing and communal services and transport, resource conservation, environmental safety of territories [5–7].

The concept of this study is based on the priority areas of the state policy in the field of waste management, as well as of monitoring, forecasting, prevention and timely elimination of natural and man-made emergencies, the principles generally accepted in the world community: «Zero waste», «Circular Economy» [16–20].

The research *methodology* includes: collection, generalisation, systematisation, comparative analysis of data in the field of research.

RESULTS

The first stage of the study was dedicated to summarising materials on the current use of anti-icing materials and liquid chemical anti-icing agents in various regions of Russia. It has been established that, as a rule, the composition of mineral anti-icing materials includes quartz sand, crushed granite stone of a fraction of 2–5 mm, marble chips, which improve the grip of vehicle wheels and shoe soles with a road surface in a slippery winter period.

At the same time, a significant problem for utilities is clogging with such materials of SRN, drainage grates, storm sewers, and for road users – the ingress of fractions of high-hardness reagents under the action of the centrifugal force of wheel sets into the windows of vehicles, external coatings, open areas of the bodies of passers-by followed by damage, respectively, to the property and health of citizens. In some cases, loose anti-icing materials reveal an increased content of radionuclides, which creates a serious danger to residents in the process of inhalation when sprayed in the atmospheric air and to biological resources of the natural environment – as a result of washout with surface runoff into water bodies and onto the soil.

The range of chemical anti-icing reagents that are toxic to human health and hazardous to the

environment is extremely wide and includes technical sodium chloride, sand and gravel material (SGM) based on calcium chloride and/or sodium, carbamides, liquid chlorides, bischofite (magnesium chloride); combined preparations: «Antisneg», «Nordix-P» (based on ammonium acetate), NCMM (carbamide, magnesium and calcium nitrates); CCM (chlorides of magnesium and calcium) and others. Also, the composition of the reagents includes additives – modifiers (corrosion inhibitors).

The components of anti-icing reagents (calcium, magnesium, sodium chlorides) are classified as moderately hazardous compounds in terms of human impact (irritating effect on the visual organs, skin upon direct contact) and belong to the third and fourth hazard classes in relation to the natural environment.

The accumulation of reagents in the roadside occurs not in the surface layer of the soil, but at a depth of up to 60 cm, reaching groundwater and the root system of plants. At negative temperatures and the absence of runoff, the reagents are intensively absorbed by snow and are then thrown by harvesting machines to the sides of the roadway at a distance of up to 50 m. Part of the unreacted salts remain on the surface and are carried by the wind over a considerable distance with spray from cars, snow, and dust.

An intense source of negative impact on the environment within a radius of tens to hundreds of meters are the places of storage of sand-salt mixtures, in most cases representing areas open to the influence of weather and climatic factors, with no embankment, collection and purification of polluted surface water.

Inorganic-based reagents have an aggressive effect on the metal structures of road transport facilities, vehicle coatings, especially under conditions of atmospheric corrosion activation. According to the results of a few studies, a combined reagent with corrosion inhibitors in the composition of technical salt (halite), bischofite solution (magnesium chloride) has the highest corrosive activity. The corrosion rate is influenced by the type and material of the corroded surface, concentration of the oxidising agent, various impurities in the coating of vehicles, road structures and devices, the level of temperature and humidity, and the intensity of precipitation. The negative effect of reagents on vehicles mainly leads to electronics failure, destruction, clouding, rusting of the coating,

corrosion of discs, exhaust pipes, and premature wear of brake pads.

Reagents containing calcium and potassium compounds under the influence of low temperatures and wind form a sliding surface on the roadway, increasing the braking distance and creating an increased accident rate. Traces of reagents of this group are clearly observed on shoes, and service life there-of is reduced to one or two winter seasons.

Fauna is especially vulnerable to the toxic effects of chemical reagents. The most dangerous is the eating by animals and birds of polluted snow with toxic reagents: materials and substances. It is no less dangerous for both long-term and short-term interaction of sensitive skin, especially of a pet, with contaminated snow masses or ice. These effects cause diseases of the skin, digestive systems of animals, vision, and smell, and can lead to death.

Causing damage to the health and property of citizens as a result of the negative impact of toxic highly corrosive chemical anti-icing reagents causes massive objective discontent, complaints, and leads to lawsuits. Environmental and sanitary-epidemiological supervision authorities regularly initiate administrative prosecution of road operating organisations for violating the rules of handling hazardous anti-icing reagents that pose a real threat to human health and nature.

The foregoing gives grounds to argue about the need to develop new safe anti-icing materials that do not adversely affect human health, natural objects, but provide sufficiently effective protection against slipperiness on SRN and, ultimately, increase the transport and environmental safety.

Scientific and practical novelty of the idea: to replace environmentally, sanitary and hygienic hazardous chemical methods for breaking ice and snow, a safe physical method has been developed to eliminate slipperiness of SRN, based on the use of solar energy, physical properties and characteristics of secondary resources from practically non-hazardous waste – granular fuel slag and biological organic compounds of the waste of the agro-industrial complex.

The study showed that currently used solid anti-icing materials based on natural minerals (sand, crushed crumbs of various rocks, rock salts) are similar in their technical and operational characteristics and properties (true density, hardness, compressive strength) to

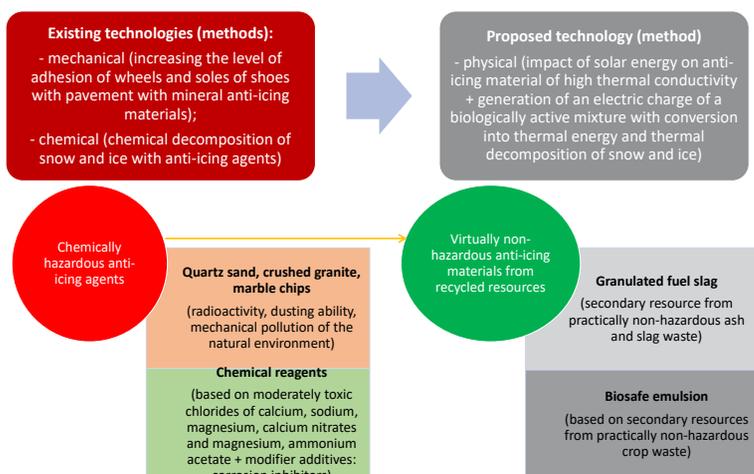


Expected Effects from the Introduction of Innovation [performed by the author]

Types of effects	Description of the effect
Ecological	Replacement of moderately hazardous components of anti-icing reagents with practically non-hazardous ones; elimination of the negative impact of chemical anti-icing agents on bioresources and components of the natural environment: air, water resources, soils, flora and fauna, as well as mechanical impact – clogging of water bodies, soils, spraying solid bulk anti-icing materials in the atmosphere.
Sanitary and hygienic	Elimination of the negative impact of toxic anti-icing reagents on human health. The use of non-threatening to life and human health de-icing materials processed from recycled materials.
Resource-saving	The use of practically non-hazardous vitrified granulated slags from coal combustion and waste from the agro-industrial complex in economic circulation as secondary material resources. Possibility of reuse of spent anti-icing materials from fuel slags, including in road construction instead of traditional natural raw materials. Saving non-renewable mineral natural resources: sand, rocks, marble, granite, industrial water for manufacture of chemical reagents
Social	Reducing the level of injuries to the population from accidents related to winter slipperiness, the flow of complaints from citizens about damage to health and personal property as a result of the negative impact of toxic highly corrosive chemical anti-icing reagents, and the growing dissatisfaction of the population with this urgent problem.
Economical	Reducing the cost of 1 ton of anti-icing reagents by 20–30 %, depending on the territorial location of the region and ash and slag dumps; reducing the costs of organisations operating SRN and municipal budgets associated with penalties, claims for compensation for damage to components of the natural environment as a result of mechanical and chemical pollution with anti-icing reagents, property of citizens; reduction of costs associated with repair and restoration work of contaminated storm sewers, receiving grates, replacement, painting of road transport facilities and devices that have undergone corrosion.
Technical and technological, associated with safety	Growth by two to three times of the rate of destruction of the ice cover on SRN; no effect on the braking distance; reduction in the level of transport accidents, possible concomitant emergencies of a man-made nature

materials based on secondary resources obtained from ash and slag waste. At the same time, the ratio in terms of heat capacity, considering the colour scale, is significantly in favour of secondary raw materials obtained from ASW, which contributes to a higher intensity of ice melting in sunny weather. Moreover, such secondary raw materials obtained in the process of separate collection, isolated accumulation, processing of ASW

(grinding, crushing, storage in a certain way), in accordance with the Federal Classification Catalogue of Waste, are practically not dangerous for the natural environment and its components. Among the characteristics of the material, the following should be noted: the density of coal and anthracite combustion slag is 1700–1990 kg / cubic meter, in bulk – from 980 kg / cubic meter; specific surface area – 4000–6700 cm² / g, increased water demand.



Pic. 2. Scientific and practical novelty of the proposed method (technology) [performed by the author].

Treating the roadway with the proposed anti-icing material with the help of specialised vehicles is carried out from a technological point of view just similarly to the treatment with currently used mineral materials, therefore, changes in storage technologies, treatment, subsequent collection, and reuse on the road network in this case are not required. Its dimensions are designed in such a way that at the maximum wind force for a given city, the simulated weight of particles of anti-icing material makes it possible to prevent dusting of the environment.

However, not all winter and late autumn days are characterised by sunny weather. This weather is typical for most regions of our country. In this case, an important property of the new anti-icing material is lost – it heats up under the influence of sunlight and melts ice and snow masses under the influence of temperature.

In this case, if temperature is below zero, an additional component of the complex anti-icing material is a bioadditive made by extraction method from specially treated plant waste based on the processes of natural biological decomposition and release of thermal energy. An example of a similar action is the processes that occur during the decay of hay, straw, as well as in manure or bird droppings. At the same time, the liquid additive is non-toxic, practically not dangerous, does not emit unpleasant scents, its consumption is determined by the appropriate quantitative ratio with the anti-icing material based on ash and slag secondary resources distributed evenly throughout the territory of the

road network. The composition of the bioadditive, the quantitative ratios of anti-icing material and bioreagent are registered as know-how (production secret) at the Russian Research Institute for Civil Defence and Emergencies (Federal Centre).

Thus, the proposed innovative solution makes it possible to switch from mostly costly and environmentally hazardous mechanical and chemical methods of combating winter slipperiness to physical, mechanical, and biological ones. The scientific and practical idea is reflected in the basic scheme developed by the author (Pic. 2).

The expected effects from introduction of the proposed innovative method (technology) are systematised in Table 1.

CONCLUSIONS

The present work was based on the solution of three research problems. Firstly, a performed systematic analysis of the used anti-icing materials and chemical anti-icing reagents has shown their danger to the environment and public health.

Secondly, a new approach is proposed to improve the protection of the urban environment from transport accidents based on the use of safe materials.

Thirdly, the possibility of a resource-saving approach to creation of a new, environmentally friendly anti-icing material based on reuse of ash and slag and organic waste instead of the use of natural resources for these purposes, admissibility of replacing mechanical and chemical methods of combating winter slipperiness with an environmentally safe mechanical and physical one, is substantiated.



Based on the results of the work, considering additional laboratory and instrumental studies, it is planned to apply for a patent for an invention and formalise it in the form of know-how.

REFERENCES

1. Samodurova, T. V. Operational management of winter road maintenance: Scientific foundations: Monograph [*Operativnoe upravlenie zimnim sodержaniem dorog: Nauchnie osnovy: Monografiya*]. Voronezh, Voronezh State University, 2003, 168 p. ISBN 5-9273-0323-4.
2. Kuznetsov, Yu. V. Problems of road surface slipperiness control and ways to solve them [*Problemy kontrolya skolzkosti dorozhnykh pokrytii i puti ikh resheniya*]. *Avtomobilnie dorogi*, 2022, Iss. 8 (1089), pp. 117–118. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49341209>. Last accessed 14.02.2023.
3. Nyud, A. S., Kiryakov, E. I. Existing problems of revealing and removing the winter slipperiness on highways and bridge constructions. *Vestnik TGASU*, 2013, Iss. 2 (39), pp. 354–361. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/qbvckt>. Last accessed 14.02.2023.
4. Samodurova, T. V., Andreev, A. V. Investigation of the conditions for formation of various types of winter slipperiness on road surfaces [*Issledovanie uslovii obrazovaniya razlichnykh vidov zimnei skolzkosti na pokrytyakh avtomobilnykh dorog*]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2003, Iss. 5 (533), pp. 91–96. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18247865>. Last accessed 14.02.2023.
5. Tskhovrebov, E., Velichko, E., Niyazgulov, U. Planning Measures for Environmentally Safe Handling with Extremely and Highly Hazardous Wastes in Industrial, Building and Transport Complex. Materials Science Forum, 2019, Vol. 945, pp. 988–994. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988.
6. Tskhovrebov, E. S., Niyazgulov, U. D. Regulation of Waste and Secondary Resources Management. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 1 (80), pp. 192–201. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-1-192-201.
7. Kozhukhovskiy, I. S., Velichko, E. G., Tselykovskiy, Yu. K., Tskhovrebov, E. S. Organizational, economic and legal aspects of creating and developing technological complexes on recycling ash and slag waste in construction and other products. *Vestnik MGSU*, 2019, Vol. 14, Iss. 6 (129), pp. 756–773. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.756-773.
8. Malchik, A. G., Litovkin, S. V. Study of ash and slag waste for their use as secondary resources [*Zuchenie zoloshlakovykh otkhodov dlya ikh ispolzovaniya v kachestve vtorychnykh resursov*]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*, 2015, Iss. 9 (part 1), pp. 23–27. [Electronic resource]: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7431>. Last accessed 14.02.2023.
9. Tselykovskiy, Yu. K. Utilization of ash and slag waste from coal-fired thermal power plants (legislative and regulatory documents): Study guide [*Utilizatsiya zolotohlakovykh otkhodov ugolnykh TES (zakonodatelnie i normativno-tekhnicheskie dokumenty): Ucheb. posobie*]. Moscow, VTI publ., 2014, 63 p. [Electronic resource]: <https://masters.donntu.ru/2017/feht/metlina/library/article4.htm>. Last accessed 14.02.2023.
10. Efimov, N. N., Yatsenko, E. A., Smoly, V. A., Kosarev, A. S., Kopitsa, V. V. Ecological aspects and problems of utilization and recycling ashes and the slag waste of thermal power stations. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2011, Iss. 2, pp. 40–44. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16217499>. Last accessed 14.02.2023.
11. Bredel, G. Tackling India's coal ash problem. *Mining Engineering*, 1995, Vol. 10, P. 51. [Electronic resource]: <https://me.smenet.org/abstract.cfm?preview=1&articleID=3636&page=21>. [limited access]
12. Liu, Hongjun; Yuan, Feng; Yang, Donghai. The strength varieties of the seibersurface made of lime and fine coal ash of the Hingwaj from Changba to Baichengt. *Dongbei line daxue*. J. Nort-East Forest. Univ., 2000, Vol. 28, No. 1, P. 45.
13. Putilin, E. I., Tsetkov, V. S. The use of fly ash and ash and slag mixtures in construction of roads: Overview of domestic and foreign experience in the use of waste from combustion of solid fuels at thermal power plants [*Primenenie zol unosa i zoloshlakovykh smesei pri stroitelstve avtomobilnykh dorog: Obzornaya informatsiya otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya otkhodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TES*]. Moscow, SoyuzdorNII publ., 2003, 60 p. [Electronic resource]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293854/4293854006.pdf>. Last accessed 14.02.2023.
14. Fedorova, N. V., Mokhov, V. A., Babushkin, A. Yu. The analysis of foreign experience of using of the thermal power plants ash and slag waste and the capabilities of multi-agent simulation of the recycling processes (review). *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2015, Iss. 3 (91), pp. 2–7. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24863456>. Last accessed 14.02.2023.
15. Bishnya, B. V., Ufimtsev, V. M., Kapustin, F. L. Promising technologies for removal, storage and use of ash and slag from thermal power plants: Monograph [*Perspektivnie tekhnologii udaleniya, skladirovaniya i ispolzovaniya zoloshlakov TES: Monografiya*]. Yekaterinburg, SEI HE UGTU-UPI, 2006, 186 p. ISBN 5-321-00634-2.
16. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, IRP, 2020, 173 p. ISBN 978-92-807-3771-4. DOI: 10.5281/zenodo.3542680.
17. Elgizawy, S. M., El-Haggag, S. M., Nassar, Kh. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*, 2016, Vol. 145, pp. 1306–1313. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.168.
18. Domenech, T., Bahn-Walkowiak, B. Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons from the EU and the Member States. *Ecological Economics*, 2019, Vol. 155, pp. 7–19. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.11.001.
19. Kirchherr, Julian, Reike, Deniso, Hekkert Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 2017, No. 127, pp. 221–232. DOI: 10.2139/ssrn.3037579.
20. Hart, J., Adams, K., Giesekam, J. [et al]. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*, 2019, No. 80, pp. 619–624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>. ●

Information about the author:

Tskhovrebov, Eduard S., Ph.D. (Economics), Associate Professor, Senior Researcher at the Centre of the Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defence and Emergencies of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russia, rebrovstanislav@rambler.ru.

Article received 14.02.2023, approved 27.02.2023, accepted 03.03.2023.

TV



RESTORING THE PAGES OF HISTORY

254

The destiny of the MIIT University female students who volunteered to the army and joined the 19th Separate Battalion of air surveillance, warning and communications during Great Patriotic War.



HISTORY WHEEL



HUMAN RESOURCES

262

As long as 130 years ago human resources were recognised to be core for effective operation of railways. Historical documents, experience, retrospective analysis.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-14>

Dedicated to the Memory of MIIT University Students – Fighters of 19 Separate ASWC Battalion...



Ekaterina B. KULIKOVA



Lidia E. ENOVA

*Ekaterina B. Kulikova*¹,

*Lidia E. Enova*²

^{1,2} *Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

✉ ¹ iuit_kulikova@inbox.ru.

ABSTRACT

*«Let's remember everyone by name,
let's remember our grief...
This is necessary – not for the dead!
This is necessary – for alive!»
(Robert Rozhdestvensky «Requiem»)*

When preparing the information about the Great Patriotic War, vivid stories about the heroes and their heroic deeds are often expected from the keepers of history – museum employees. Heroic deeds must certainly be impressive, stories are bright and

exciting, supported by impressive numbers, high awards. It's like that... But let the story that will be discussed in the article remind you that the Victory in the most terrible and bloody war of the 20th century became possible due to the daily heroic deeds of all citizens of our country, all without exception, regardless of their age, gender, profession. Precisely because the female students of MIIT, who volunteered for the front in 1942, did not consider themselves heroes, today the staff of RUT (MIIT) Museum is restoring their history bit by bit in the archives and new facts of their military path are published for the first time in 80 years!

Keywords: *Great Patriotic War, history, MIIT University, Russian University of Transport, history of science and engineering.*

Acknowledgements: *the Museum of the Russian University of Transport expresses its gratitude to RUT (MIIT) archive, FSI «Central Archive of the Ministry of Defence of the Russian Federation» (Podolsk), as well as information partners of the project: FSIC «State Historical and Memorial Museum-Reserve «Battle of Stalingrad» (Volgograd), M.B. Grekov Studios of military artists (Moscow), SAA of Yamal-Nenets Autonomous District «I. S. Shemanovsky Yamal-Nenets District Museum and Exhibition Complex», Vysota Military Industrial Complex (Ramenskoye) and its leader N. K. Yudin.*

For citation: *Kulikova, E. B., Enova, L. E. Dedicated to the Memory of MIIT Students – Fighters of 19 Separate ASWC Battalion... World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 254–261. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-14>.*

**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.**

The strategic defensive operation in Stalingrad region lasted more than 200 days and nights and included two stages:

- first – conduct of defensive combat operations by the troops of the fronts on the distant approaches to Stalingrad (July 17, 1942 – September 12, 1942);

- second – conduct of defensive operations to hold Stalingrad (September 13, 1942 – November 18, 1942).

An active part in the defence of the city on the Volga was taken by the Stalingrad Air Defence Corps District (SADCD). By order of the People's Commissar of Defence of the USSR Marshal of the Soviet Union K. E. Voroshilov dated April 20, 1942, the Stalingrad air defence divisional area was transformed into the Stalingrad Air Defence Corps District (SADCD). During fierce battles in the interfluvium of the Volga and Don, the troops of the corps were actively fighting. On the eve of the Battle of Stalingrad, SADCD included 76 units and subunits with a personnel strength of 33468 people.

In accordance with the decree of the State Defence Committee of the USSR of March 25, 1942, 100000 Komsomol girls were sent to air defence units to fill the positions of telephone operators, radio operators, reconnaissance air observers and anti-aircraft artillery, as well as other «male» military positions [1].

So, in May 1942, 3,116 girls aged 19 to 25 arrived in the air defence corps. It was required in the shortest possible time to train them for combat duty in parts of the corps air defence and in separate battalions of air surveillance, warning, and communications. Komsomol girls were called up from various cities of the Soviet Union. Moscow Institute of Transport Engineers n.a. I. V. Stalin (MIIT) in 1941 was evacuated to Novosibirsk. It was from there that 27¹ Komsomol girls, students of 1–4 years at MIIT, volunteered for the Red Army and were sent to the Stalingrad front. By order of June 8, 1942, they were all enrolled in 19 separate battalion of air surveillance, warning, and communications (SB ASWC).

From a report to the head of the political department of the 4th Air Defense Division.

¹ The names and surnames of 23 students of MIIT are confirmed by documents from the archive of the Ministry of Defence of the Russian Federation and the archive of RUT (MIIT), research and search work continues for three more persons by the staff of RUT (MIIT) Museum.

Report of the 19 separate battalion (SB) ASWC of June 18–23, 1942:

«...7. Acceptance of new replenishment. Komsomol girls are in the village of *Sharovo, Lozano-Alekseevsky district*. From June 11 to June 14, a march of 102 km was completed. It went in an organised manner. There were no laggards. From the 15th lesson strictly according to the program, everyone has got a great desire to learn the specialties of ASWC...».

Classes were held in subdivisions of 19 SB ASWC, daily for ten hours during the day and two hours at night, for combat and political training.

The ASWC fighters should have known perfectly:

1. Tasks of ASWC service.
2. Appointment, composition, property of the observation post and elements of the order of battle.
3. ASWC equipment.
4. Material part of the rifle.
5. Means of communication of ASWC observation posts and the procedure for using reports of the «AIR» type.

Also, should be able perfectly:

6. To detect, to identify, to determine the course, height, type, and number of enemy aircraft.
7. To distinguish the silhouettes of the aircraft of the USSR, England, and the USA, which are in service with the Red Army (author: Pic. 1).
8. To describe all the characteristic features of the device of any aircraft, to determine the type of aircraft for any part (tail, fuselage shape, plane, engine group).
9. To draw from memory the shape of the silhouette of the aircraft of Germany, Italy and Romania (author: Pic. 2).
10. To perform exercise No. 1 from a rifle, to protect the rifle.
11. To draw a current carrying circuit.
12. To turn on correctly telephone sets UNA-I and UNA-F, MB «Krasnaya Zarya» in a single-wire and two-wire circuit.
13. To comply with the requirements of the disciplinary, drill, as well as the internal service charters.

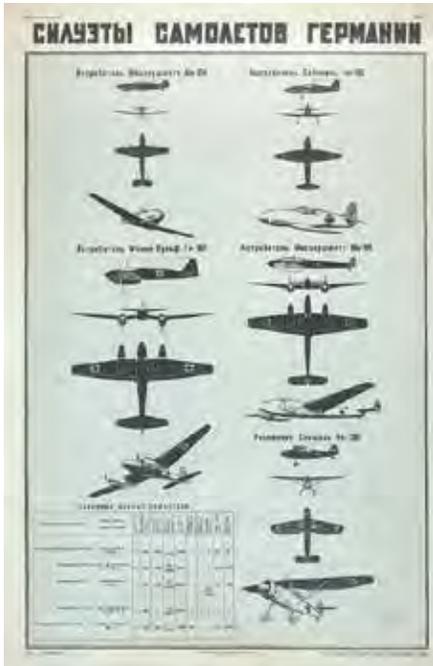
Recruit girls successfully completed the training, during the test, the vast majority received «good» and «excellent» scores.

From the report to political instructor of 19 SB ASWC: «During the training of recruits,





Pic. 1. Silhouettes of American planes [2].



Pic. 2. Silhouettes of German planes [3].



Pic. 3. Commander of 19 SB ASWC Lieutenant Colonel P. F. Foris (from a personal file of 1944).

20 combat leaflets were issued and the best editor, the Komsomol member Larisa Knoroz (a student of the 1st year of group 11 of the Faculty of Railway Engineers), was especially noted, who managed to direct the platoon personnel to eliminate shortcomings in learning»...

From the report on combat activities of 19 SB ASWC for the years of the Patriotic War of 1941–1945: «In June 1942, the battalion received girls for replenishment. By this time there were no women’s uniforms, it was very difficult to get a ride by rail, because ammunition was transported first. Therefore, for 1,5 months the girls were in the unit in their dresses. We made the transition from Kupyansk

to the station Balashev in own shoes. Only later, in Stalingrad, the girls-fighters were uniformed»...

19 SB ASWC was formed in Western Ukraine in the city of Lvov on March 1–5, 1940 in accordance with the Directive of the Air Defence Directorate of Kiev Special Military District (KSMD) No. 2/00208 dated March 3, 1940. The battalion was subordinate to the headquarters of KSMD Air Defence and operational subordination of the Air Defence Division. Captain Pavel Fedorovich Foris took command of 19 SBASWC (Pic. 3) Senior Lieutenant Ivan Efremovich Barbaruk became the chief of staff of a separate battalion.



Elemenkina Valentina



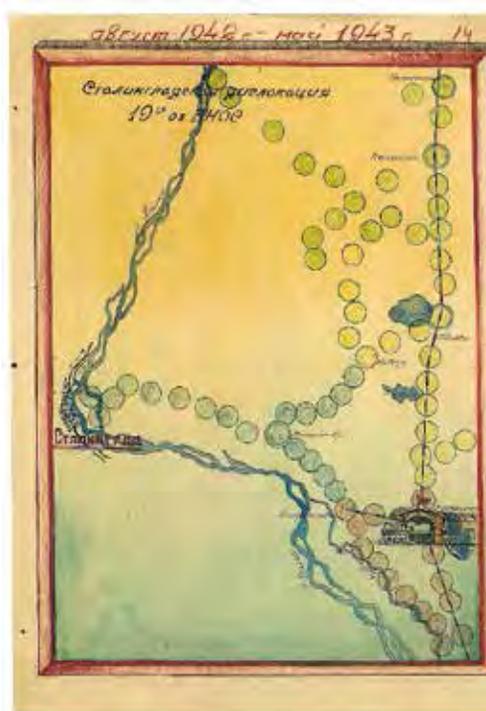
Utkina Valentina



Soboleva Tatyana

At Stalingrad deployment in 1942–1943 the battalion performed a combat mission to defend Stalingrad and Ural-Ryazan railway (Pic. 4). Observation posts (OP) of ASWC, which were deployed along the railway on the outskirts of Stalingrad, and then along the front line along the river Volga, were systematically bombed by the enemy. During the days of the Battle of Stalingrad, a large number of enemy aircraft were in the air. And on August 23, 1942, German aviation launched a massive attack on Stalingrad, destroying a significant part of the city and tens of thousands of its inhabitants. Massive bombardments were carried out to demoralise the defenders of Stalingrad and make it easier for the Wehrmacht to capture the city. At that time, the Germans had overwhelming air superiority, and it was unrealistic to repel this attack by the forces of Soviet aviation and air defence of the city.

The airstrikes continued for several days. As a result, about 40 thousand Soviet citizens died. Not only because of the power of the air strike, but also because the houses (mostly wooden), dried by the sun by mid-August, easily caught fire, and the water supply had been damaged during previous raids. The fact that oil spilled along the Volga made it very difficult to extinguish fires. A significant part of Stalingrad burned out. The Nazis subsequently noted that their offensive passed through the territory of workers' settlements, which turned into a forest of chimneys left over from houses completely destroyed by fire. This was the Apocalypse captured in German photographs [5]. Under the massive blows, the communication lines were continuously torn. The personnel of OP, despite the continuous bombing, promptly repaired the damage and transmitted reports on the appearance of an air enemy.



Pic. 4. Stalingrad deployment of 19 SB ASWC [4].

In the area of deployment, 35230 times aircraft flew over and were registered according to the reports of OP during the summer months.

Fighters of 19 SB ASWC went all the way with their battalion from 1941 to 1945 (Pic. 5). It is important to note that due to the skilful actions of the commander of 19 SB ASWC P. F. Foris, the personnel of the battalion suffered minimal losses at Stalingrad deployment.

In the orders of this period, separate points highlighted the procedures for placing female fighters in covered cars, providing them with sanitary supplies and hot meals at observation





Proskurina Valentina



Panisova Larisa



Pavlovets Nina

posts. Documents found in the archives testify to the attentive attitude of the battalion commander towards the girls: on November 28, 1942, a letter was sent to the commander of 19 SB ASWC from N. A. Bugrov, the father of one of the best radio operators of the battalion, a second-year student of the rail operational faculty, Lidia Bugrova. The father inquired about the whereabouts of his daughter and was disturbed by her two months of silence. In the documents of the political instructor of SB I. E. Barbaruk, a note was made: *«Inform the father about the location of the fighter and a copy of the answer (send) to Serdovsk, military unit 781 that the fighter Lida Bugrova is performing a combat mission, is healthy and she has been given a lesson by the political instructor Barbaruk about the need to write letters to his father».*

Despite the tense situation, the fighters received new knowledge and training sessions were regularly held in the battalion.

Order regarding 19 SB ASWC No. 372 dated December 31, 1942:

«Today, the battle assembly of radio operators – Komsomol girls – fighters is considered over. The 2-month radio operator training program has been completed.

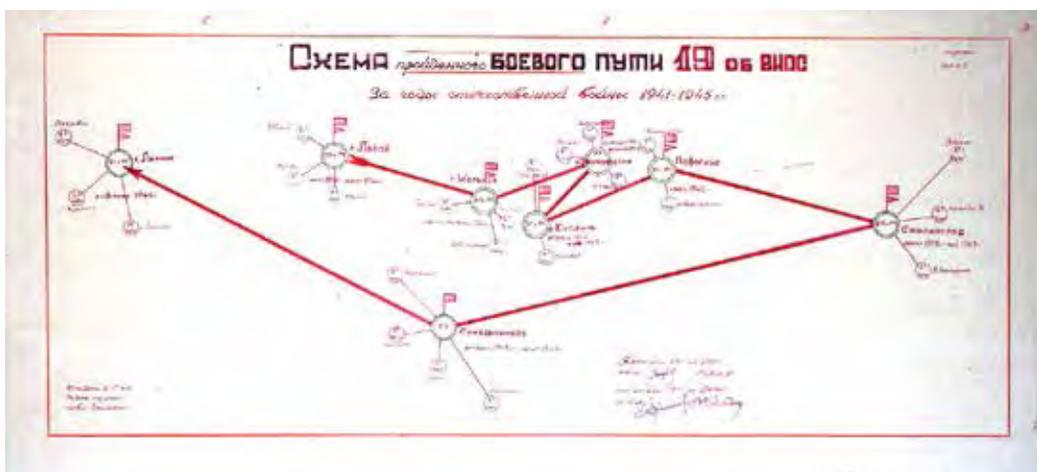
The best examples of learning to master the program were shown by the fighters:

1. Lavrova Z. A. (prize 100 rubles);
2. Ivanova A. G. (prize 100 rubles);
3. Utkina V. I. (prize 100 rubles);
4. Metlina N. E. (prize 50 rubles).

The course was led by Lieutenant Vasyura E. V.».

In February 1943, Margarita Zakharova, Galina Zhugan and Tatyana Soboleva, 19 SB ASWC fighters, were thanked for their excellent combat duty, excellent and good results in combat and political training.

In November 1942, MIIT students received excellent testimonials from the commander of the 2nd company of 19 SB ASWC, Lieutenant Biderman.



Pic. 5. Scheme of the combat path of 19 SB ASWC during the years of the Great Patriotic War 1941–1945 [4].



Zhugan Galina



Deryugina Alexandra



Bugrova Lidia



Nazarova Larisa



Mamontova Sofia



Kuznetsova Nadezhda

From the report:

«Corporal Nazarova Larisa (3rd year of the Faculty of Engineering and Economics): «A neat, executive fighter. She copes well with the work of a senior telephone operator.

Junior Sergeant Zhugan Galina: «An exceptionally disciplined neat fighter. She performs excellent military service at her post.

Corporal Soboleva Tatyana: «Energetic, disciplined fighter. She performs well in combat».

Valentina Utkina, a student at the Faculty of Communications at MIIT, was one of the best radio operators in the battalion. In 1944, senior sergeant Utkina was recalled to the disposal of the headquarters of the air defence division stationed in Warsaw.

The following MIIT students became the heads of observation posts:

- 1st year student of the Faculty of Tracks Nadezhda Kuznetsova;
- 4th year student of the Faculty of Engineering and Economics Margarita Zakharova;
- 1st year student of the Faculty of Railways Valentina Utkina;

• 2nd year student of the Faculty of Civil Engineering Valentina Elemenkina;

• 1st year student of the Faculty of Tunnels Elena Lebedeva.

Tatyana Soboleva and Raisa Vyarvelskaya, 2nd and 3rd year students of the Faculty of Economics at MIIT, were appointed Komsomol organizers of the companies.

All MIIT students – fighters of 19 SB ASWC received the rank of corporal, junior sergeant, sergeant. Every single one was awarded medals «For the Defence of Stalingrad», Alexandra Deryugina, Valentina Elemenkina, Sofya Mamontova, Tatyana Soboleva and Nadezhda Kuznetsova – medals «For Military Merit».

The 2nd year student of the operational faculty Larisa Panisova died in 1945.

Employees of RUT(MIIT) Museum continue research work to restore the names and life stories of MIIT students – fighters of 19 SB ASWC.

We consider it important to remember by name all the «girls»-students of MIIT, who left





Agapova Kapitolina

in 1942 as volunteers and became fighters of 19 SB ASWC²:

1. **Agapova Kapitolina**, Faculty of Economics of MIIT 3rd year of study, corporal-telephonist of 19 SB ASWC³.

2. **Bugrova Lidia**, Operational faculty of MIIT 2nd year of study, corporal-observer of 19 SB ASWC.

3. **Vyarvelskaya Raisa**, Faculty of Economics of MIIT 3rd year of study, junior sergeant – head of the observation post of 19 SB ASWC.

4. **Deryugina Alexandra**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, junior sergeant of 19 SB ASWC.

5. **Ershova Natalia**, Faculty of Engineering and Geology of MIIT 1st year of study, junior sergeant of 19 SB ASWC.

6. **Zhugan Galina**, Operational faculty of MIIT 2nd year of study, junior sergeant of 19 SB ASWC.

7. **Zakharova Margarita**, Faculty of Economics of MIIT 4th year of study, junior sergeant of 19 SB ASWC.

8. **Knoroz Larisa**, Faculty of Engineering and Geology of MIIT 2nd year of study, sergeant of 19 SB ASWC.

9. **Korobova Nina**, Faculty of Tunnels of MIIT 1st year of study, corporal of 19 SB ASWC.

² The list of MIIT students is verified and compared with the list of personnel of 19 SB ASWC stored in the archive of the Ministry of Defence of the Russian Federation and the list of students of the institute from the archive of RUT MIIT n.a. I. V. Stalin for 1942. The article contains the photos of all the students that have been found as of 23.01.2023.

³ Military ranks are given in accordance with the act of awarding medals «For the Defence of Stalingrad» in 1945 (the basis of the Decree of the Presidium of the Supreme Soviet of the USSR of December 22, 1942).

10. **Kuznetsova Nadezhda**, Faculty of Tracks of MIIT 1st year of study, sergeant of 19 SB ASWC.

11. **Lebedeva Elena**, Faculty of Tunnels of MIIT 3rd year of study, Red Army observer of 19 SB ASWC.

12. **Mamontova Sofia**, Operational faculty of MIIT 2nd year of study, sergeant – head of the observation post of 19 SB ASWC.

13. **Nazarova Larisa**, Faculty of Economics of MIIT 4th year of study, corporal telephonist of 19 SB ASWC.

14. **Nikishova Elizaveta**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, corporal radiotelegraph operator of 19 SB ASWC.

15. **Pavlovets Nina**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, Red Army observer of 19 SB ASWC.

16. **Pavlovskaya Elena**, Faculty of Economics of MIIT 2nd year of study, corporal telephonist of 19 SB ASWC.

17. **Panisova Larisa**, Operational faculty of MIIT 2nd year of study, corporal observer of 19 SB ASWC.

18. **Popova Tatyana**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, junior sergeant – head of the observation post of 19 SB ASWC.

19. **Proskurina Valentina**, Faculty of Tracks of MIIT 2nd year of study, Red Army observer of 19 SB ASWC.

20. **Soboleva Tatyana**, Faculty of Economics of MIIT 2nd year of study, corporal observer of 19 SB ASWC.

21. **Utkina Valentina**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, corporal observer of 19 SB ASWC.

22. **Shirokova Maria**, Faculty of Railways of MIIT 1st year of study, Red Army observer of 19 SB ASWC.

23. **Elemenkina Valentina**, Construction Faculty 3rd year of study, sergeant – head of the observation post of 19 SB ASWC.

24. **Lapina Anna**, 2nd year of study of MIIT, *further search for information in progress.*

25. **Lobankova Iraida**, 2nd year of study of MIIT, *further search for information in progress.*

26. **Metllina Elizaveta**, 1st year of study of MIIT, *further search for information in progress.*

After demobilisation on July 20, 1945, not all the girls returned to their native university. N. Ershova, N. Korobova, M. Shirokova, M. Zakharova, L. Nazarova, E. Lebedeva,



Fig. 6. Exhibition project of RUT (MIIT) Museum [photo by RUT press service].

V. Utkina, R. Vyarvelskaya, T. Soboleva graduated from MIIT and worked in their specialty. Raisa Vyarvelskaya was an excellent student, received the Stalin Prize, completed her postgraduate studies, defended her Ph.D. thesis and worked as an Associate Professor at the Department of Economics, Organisation and Management of Production at MIIT. She carried out a lot of scientific and methodological work, was a member of the Council of War Veterans of MIIT. Tatyana Soboleva also completed her postgraduate studies, defended her Ph.D. thesis and taught at the Department of Political Economy of MIIT [6].

To commemorate the 80th anniversary of the end of the Battle of Stalingrad, RUT (MIIT) Museum prepared an exhibition project, which presents archival materials, photographs, sketches for the film «Stalingrad», 2013 (directed by F. Bondarchuk, production designer S. Ivanov) and works of battle painters on the theme of the Battle of Stalingrad (Pic. 6).

REFERENCES

1. Nasekin, M. A. Troops of Stalingrad Air Defence Corps District (July 17 – October 31, 1942) [*Voiska Stalingradskogo korpusnogo raiona PVO (17 iyulya – 31 oktyabrya 1942)*]. *Voенно-istoricheskij zhurnal*, 2021, Iss. 10, pp. 34–44. [Electronic resource]: <http://history.milportal.ru/arxiv/voенno-istoricheskij-zhurnal-2021-g/voенno-istoricheskijzhurnal-10-2021-g/>. Full text of the issue: https://disk.yandex.ru/i/0BXYZV-L_Bb8lw. Last accessed 06.02.2023.
2. Identification marks of American aircraft [*Opoznavatelnie znaki amerikanskikh samoletov*]. [Electronic resource]: <https://ivagkin.livejournal.com/80977.html?>. Last accessed 06.02.2023.
3. Poster «Silhouettes of German aircraft». – Artist B. Zharkov. Moscow, Military publishing house of NPO of the USSR, 1941. [Electronic resource]: <https://oborona.museum-online.moscow/entity/OBJECT/17754>. Last accessed 06.02.2023.
4. Report on combat activities of 19 SB ASWC 1941–1945 [*Otchet o boevoi deyatelnosti 19 OB VNOS 1941–1945*]. Archive of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Podolsk. F. 708959, Inv. No. 349, case 45795.
5. Isaev, A. Battle on the Volga [*Bitva na Volge*]. *Istoriк*, 2018, Iss. 2 (38). [Electronic resource]: <https://xn--h1aagokeh.xn--p1ai/journal/post/6361>. Last accessed 06.02.2023.
6. Collection «Miitovtsy in the Great Patriotic War» [*Sbornik «Miitovtsy v Velikoi otechestvennoi voine»*]. Moscow, MIIT publ., 2005, 160 p. ISBN 5-00-005952-2. ●

Information about the authors:

Kulikova, Ekaterina B., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of RUT (MIIT) Museum, Moscow, Russia, iuit_kulikova@inbox.ru.
Enova, Lidia E., Senior inspector of RUT (MIIT) Museum, Moscow, Russia, museum@miit.ru.

Article received 06.02.2023, approved 03.03.2023, accepted 03.03.2023.





Draft Regulation on the Train Traffic on Russian Railways (Steam Locomotives' Railways) Open for Public Use (1892)



Press archives

This issue reprints extracts from the preliminary draft of one of the core regulations on railway operations which was the regulation on train traffic. It was compiled more than 130 years ago. Probably, the entire document is less of interest regarding engineering aspects but is of much greater interest as far as jobs are concerned or, in modern terms, human resources. Many aspects are quite relevant regardless the historical gap. We can quote requirement addressed to the employees when they work at the positions that combine two qualifications to possess all the skills necessary for each of them.

Publication keeps intact as much as possible the style, punctuation and lexis of the time.

Keywords: transport, history of transport, railways, staff, employees, history of science and engineering.

Preliminary draft regulation on train traffic on Russian railways (steam locomotives' railways) open for public use. Developed by the Commission established by the Department of Railways by Circular Order of April 21, 1892, No. 5190, under the chairmanship of the engineer, D.S.S. M. M. Petrovsky.

Organisation of traffic service

CHAPTER I

General provisions

§ 1

(1) Movement of trains on a railway open for public use is carried out by the direct order of the traffic service under the general direction of the manager of the road, in accordance with this regulation.

(2) If necessary, due to the special conditions of the road, to establish any deviations from this provision, such may be allowed only with the permission of the Minister of Railways.

(3) All persons in the traffic service, starting with the head of this service, are subordinate to the road manager.

Note: Under the name of the board of the railroad, in this provision, one should also understand the boards of management of private railways, replacing the boards, and under the name of managers, also the heads of public and directors of private railways.

§ 2

(1) The traffic service includes the following persons who are directly related to movement of trains:

Acknowledgements: the editors express sincere gratitude to the staff of the Library of Russian University of Transport for their assistance in preparing the publication.

For citation: Draft Regulation on the Train Traffic on Russian Railways (Steam Locomotives' Railways) Open for Public Use (1892). *World of Transport and Transportation*, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 262–268. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-15>.

The text in Russian is published in the first part of the issue.

Текст на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

a) the head of the traffic service and his assistant;

b) heads of central administrative departments and local departments, auditors and traffic controllers;

c) stationmasters and their assistants;

d) signalmen at permanent station and track signal posts;

e) telegraph operators;

e) switchmen;

g) assemblers of trains and couplers;

h) chief conductors and conductors of all types.

Note: The locomotive servicing team members, although they do not belong to the traffic service, but in relation to movement of rolling stock, are subordinate at the stations to the head of the stations, or the person in charge of the manoeuvres, and en route – to the chief conductor.

(2) From among the named positions, the administration of each road establishes the composition of the traffic service, which is approved by the Minister of Railways.

(3) The procedure for appointing and dismissing employees who are part of the traffic service, as well as the mutual relations of employees, shall be determined for each road, in accordance with the provisions of the law, the regulations of the Minister of Railways and the articles of association of the underlying railway company.

(4) The position of head of the traffic service, depending on the conditions of the road, may be combined with the position of a road manager or other position on the road, with the permission of the Minister of Railways. For the rest of the positions named in paragraph 1 of this section, with the approval of the road manager, it is allowed to combine temporarily, periodically or permanently several positions in one person, in accordance with local traffic conditions, and in addition for each of the employees, regardless of the duties defined by this provision, other obligations relating to the railway service may be imposed if the manager of the road considers such a combination possible without prejudice to the case.

5) An employee who combines several positions must satisfy all the qualities and knowledge established for each of the positions he combines, whether it is a combination of permanent, temporary or periodic nature.

§ 3

(1) Each person is obliged to temporarily remove from office an employee directly subordinated to him who has proved unreliable or who has found himself incapable of performing the duties assigned to him, and immediately report such removal to his immediate superior for further instruction, taking on his part the necessary measures for the uninterrupted service.

(2) The employees referred to in § 2 must have such sight and hearing as to be able to clearly distinguish the signals used on the road, and not to have bodily defects that prevent them from performing the duties assigned to them.

(3) Station and train employees must be of legal age, but the following exceptions are allowed:

a) those who have completed a course at technical railway schools may be allowed: to occupy the positions of a switchman, coupler, train builder and conductor from the age of 18, if they satisfy the required rules and qualities for employees;

b) telegraph operators, who are not assigned traffic duties, are allowed to practice with telegraph devices from the age of 16.

(4) Only persons who have passed the test in full knowledge of their duties are allowed to perform the positions of station masters, their assistants, signalmen, switchmen, train assemblers, couplers, chief conductors and conductors, and the station masters, their assistants and deputies must be appointed from persons who know how to operate the telegraph; train assemblers and chief conductors must be literate; couplers, switchmen and conductors should be elected as far as possible from among the literate.

(5) Each person holding the position named in § 2 of this provision must be provided with an instruction (manual) approved by the road manager, know the regulations on signals and the instructions of employees subordinate to him and freely explain himself in Russian. Instructions are drawn up in accordance with this regulation and the relevant resolutions and orders of the Minister of Railways, and should, as accurately and concisely as possible, determine the duties of the person to whom they are issued, and the order of subordination.

(6) Each instruction must be accompanied by the following excerpts from the laws ... in addition, from the general charter of Russian railways, the relevant articles must be included





in the relevant instructions, at the discretion of the road manager.

(7) Any changes and additions to the instructions resulting from the order of the Minister of Railways, as well as changes in laws and regulations placed in the appendices to the instructions, are communicated by an official order through the line of the road manager.

(8) Instructions are issued to each employee on receipt, while they are read and explained to the illiterate by their immediate superiors.

(9) An employee admitted to performance of duties assigned to him cannot excuse himself by ignorance or misunderstanding of the content of the instructions, rules, regulations, etc. given to him.

(10) Every member of the traffic service must be provided in performance of his official duties with serviceable signal signs assigned to his position, tools and all items necessary for performance of duties entrusted to him. The receiver of the instruments and signals is obliged to verify their suitability and, in case of a malfunction, immediately report this to the authorities.

(11) Each of the traffic officers named in these rules must be in uniform or with a uniform badge assigned to this position according to an approved, in the prescribed manner, model while on duty.

§ 4

(1) The duties regarding traffic must be entrusted to a sufficient number of employees, so that they can successfully carry out the work assigned to them and, in case of a sudden illness of one of them, his duties can be promptly taken over by another person.

1st option

(2) The number regarding traffic is determined on the basis of the following limit norms for permanent rest service during the day.

2nd option

(2) The number of employees is determined on the basis of the following limits for continuous service and subsequent rest.

For station employees

(3) For the permanent service of station employees, the maximum limit of daily work allowed in winter is 12, and in other seasons is 14 hours a day, on the indispensable condition of providing uninterrupted rest, regardless of day or night, at least 6 hours a day and beyond that uninterrupted one-day rest during each

month twice, and the employee is granted the right to use this rest, with the consent of the road administration, not by months, but by the totality of several months.

1st option

(4) When, due to traffic conditions or due to particular intensity of work, it is not possible to comply with the above norms for permanent service, then the duty is distributed between two or more persons, depending on the following norms of duty and rest.

a) Heads of stations, their assistants, signalmen, assemblers, couplers, senior switchmen and switchmen at ordinary switches can be on duty 24 hours a day; signalmen and switchmen at posts of concentrated action – no more than 16 hours a day.

b) Whenever the uninterrupted service of named servants reaches the highest limits of the said norms, the subsequent rest granted to them shall not be less than the number of hours of uninterrupted service preceding.

c) Duty among employees should be distributed in such a way that during four days the total number of hours of rest provided to employees is equal to the total amount of time worked.

2nd option

(4) When, due to traffic conditions or due to special intensity of work, it is not possible to observe the above standards for permanent service, then a regular watch is established between two or more persons, and the maximum limit of continuous service of each of them should not exceed:

a) for the heads of stations, their assistants, signalmen, assemblers, couplers, senior switchmen and switchmen with manual switches – 24 hours, for signalmen and switchmen at central apparatus – 16 hours.

b) The shortest rest of employees, immediately following the service, must be at least half of the previous number of hours on duty.

c) The total result of the rest must be in the amount of at least 48 hours within 4 days.

For conductor crews:

1st option

(1) Conductor crews assigned to escort passenger, cargo-passenger, military and cargo trains carry out continuous service no more than 18 hours a day; uninterrupted rest of crews should not be less than 6 hours during the day, and during the period of time determined by the manager of the road, for the entire line or for the section, the average daily duration of work

per day should not exceed 12 hours in any case, and the longest period assigned road manager should not be allowed more than 6 days.

(2) When compiling the distribution of duty and rest, one should be guided by the rule of assigning the longest rest in the places of residence of crews, limiting rest in the circulating depot to the extreme limit of necessity.

(3) In some cases, the duration of the uninterrupted presence of conductor crews on trains may be up to 24 hours, but only with the permission of the Minister of Railways.

(4) The duration of uninterrupted service of conductor crews of working trains may be increased, with the permission of the road manager, to 24 hours, provided that uninterrupted rest time is granted not less than the number of hours of the previous service.

(5) The appointment of shifts, as well as the distribution of duty and rest periods for station and train employees, is made by order of the traffic service, within the limits of the above norms and is approved by the road manager.

2nd option

(5) For conductor crews, the maximum limit of continuous service should not exceed 18 hours. Under special conditions of the road, the maximum limit of continuous service is allowed even as long as 24 hours, but only with the special permission of the Minister of Railways. The indicated limit norms can be applied both in relation to one, and in the aggregate of several trips.

Note: The indicated service time limits for conductor crews also include the time required for acceptance and delivery of trains.

(6) Upon reaching the uninterrupted service of the above-mentioned limits in this §, the conductors must be provided with rest, the smallest limit of which is determined in the place of permanent residence equal to half, and outside it, not less than one third of the previous service. Rest granted prior to the onset of the limit norms, at least for several trips, interrupts the course of the total duration of service only if such rest was not less than the above ratios to the previous service.

(7) Rest time of 3 hours or more spent outside the place of permanent residence is counted in the total amount of rest indicated below, only under the condition that the teams are provided with a room adapted for rest within the station.

Note: Rest of less than 3 hours is included into the number of hours of service.

(8) The total amount of hours of rest, both in the points of permanent residence of crews, and outside them, should, in a certain period of time not exceeding 6 days, be equal to the sum of the hours of service, and the rest should be distributed as evenly as possible.

(9) The distribution of the duty of station employees, as well as the work of conductor crews, is carried out by order of the traffic service with the approval of the road manager.

(10) When employees are sent in passenger, cargo-passenger or cargo trains to their destination for performance of their official duties, half of the time spent by such employees on the road is considered as rest hours if they are not assigned any duties during the journey.

(11) In cases of emergency that could not be foreseen in advance (such as force majeure, train delays, etc.), accidental deviations from the above-mentioned norms of continuous service are allowed, but so that the road management takes care of restoring as soon as possible the ratio rest to the duration of the previous service.

§ 5

(1) The limits of responsibility of each employee are determined by the content of this regulation, the instructions given to him and the orders communicated to him on the road, and the following rules apply:

a) If the failure to perform, or unsatisfactory performance, of any of the duties resulted from an untimely notification to the executing employee, or as a result of assignment of duties associated with the positions named in § 2 to a person who does not possess the qualities specified in this §, then the responsibility falls on the person who made such omissions.

b) If it is impossible to fulfil his duty personally, everyone must promptly transfer the execution to the person appointed by the authorities for such a case; in the absence of such a person, everyone must immediately notify the appropriate authorities of the impossibility of fulfilling their duties.

CHAPTER II

Distribution of duties between employees

§ 6

(1) Every employee, regardless of performance of the duties directly assigned to him, must, as far as possible, contribute to prevention of any danger that may threaten train traffic. In case of a train, rolling stock, or any other incident on the road, each employee is obliged to immediately take measures



depending on him to provide assistance, and to fence off the scene of the accident with signals.

(2) In case of a fire, every employee who notices the latter is obliged to immediately sound an alarm. On such a signal, railway employees are obliged to immediately arrive at the place of fire and, having taken their places, act in accordance with the instructions.

Note: This requirement does not apply to employees who perform responsible duties of receiving and sending trains during a fire.

(3) Employees of the traffic service are obliged to behave towards the public modestly and politely, but at the same time, with firmness and perseverance, demand implementation of the established rules; they must be helpful within the limits of their official rights. If outsiders do not pay attention to the warnings of employees or show unwillingness to obey their legitimate demands, employees are obliged to contact the gendarmerie police for assistance, and report more important cases to their superiors.

(4) The agents of the traffic service referred to in § 2 of this provision, in the performance of their official duties, in relation to the public, enjoy the rights of persons in the public service¹.

§ 7

Head of traffic service

(1) The person who is entrusted with direct management of the traffic service is called the head of the traffic service.

(2) The duties of the head of the traffic service include:

a) direct, responsible management and governance of traffic on the road and the personnel of this service;

b) concern for appropriate development of stations, their signalling and trains, a sufficient number of rolling stock, arrangement of premises and devices necessary for train movement, supplying stations, trains and serving with the necessary signals, tools, instructions, other items and materials, about a sufficient number of employees and their compliance with the requirements of the service;

c) monitoring the correct and timely movement of trains;

d) supervising the exact application and enforcement of all rules, regulations, ordinances and orders of the government relating to railways, as well as the rules taught by the road administration;

e) drawing up schedules and timetables for trains;

g) maintaining the established reporting.

Note 1: In urgent cases, the head of the traffic service takes, with his own authority and under his own responsibility, all the measures necessary for the part entrusted to him to ensure safety, correctness and continuity of the traffic;

Note 2: The closest, under the general guidance of the head of traffic, management and governance of the service and monitoring the exact execution by employees of all applicable rules may be assigned to the assistant head of traffic, the head of the central administrative department, the heads of local departments, auditors and traffic controllers.

§ 8

Heads of stations

(1) To manage the station for reception and departure of trains, a special person is appointed, called the head of the station.

(2) The head of the station must:

a) maintain in full working order to ensure train traffic the facilities located within the station: tracks, switches, signals and rolling stock, eliminate, if possible, noticed malfunctions and, if necessary, require assistance and orders from relevant persons;

b) take care of the appropriate number for the station: of tracks, switches, structures, signals of rolling stock and personnel, and the supply of station employees with instructions, signals and other items;

c) monitor exact performance of duties of the service by all train and station employees and distribute duties between the latter, depending on traffic conditions and the existing rules for this;

d) direct and supervise the production of maneuvers, not allowing any deviations from the existing rules;

e) make sure that rolling stock placed on the tracks, as well as the arriving trains, do not go beyond the allowed dimensional limits and are firmly secured;

f) send and receive trains on prior assurance that the path for movement is clear, that the rules for relations with neighbouring stations and the conditions for the proper composition of the train are strictly observed, that the latter is accompanied by a certain number of train employees and equipped with established signals;

g) manage the supply of assistance to trains and passengers injured en route and at the station, taking possible measures and directing, in appropriate cases, the actions of employees to resume correct and safe traffic on the track or at the station;

¹ To be established by law.

h) maintain the established reporting on movement of trains.

Note: The words «head of the station» should also be understood as their assistants, who assumed a.i. the post of a head of a station.

§ 9

Signallers

(1) Signal posts between stations, and within them, established for communication on reception and departure of trains, are entrusted to the care of special persons called signalmen.

(2) Signallers are obliged to:

a) keep the post and apparatus in full working order for movement, as often as possible making sure that they are intact, serviceable and in proper operation;

b) take care of replacement and repair of everything that has deteriorated at the post and devices, as well as cleanliness and timely lighting of signals;

c) ensure that the post is always free for trains to run;

d) strictly follow all the rules for signalling at the post and communicating with neighbouring stations when receiving and sending trains;

e) report immediately to the responsible authorities and neighbouring stations or posts about malfunctions of the post or devices, entailing a violation of the established order of train traffic;

f) notify neighbouring stations or posts and the responsible authorities of incidents with trains and demand the dispatch of assistance in accordance with the rules in force;

g) maintain the established reporting on movement of trains.

§ 10

Telegraph operators

(1) The operation of the telegraph apparatus of the station is entrusted to the telegraph operators.

(2) The telegraph operator is obliged to:

a) observe that the devices and the room telegraph device are in good order, and in case of damage, take possible measures to repair them in a timely manner;

b) report any damage to the telegraph, without exception, both on the line and at the station, immediately to the station head, mechanic and telegraph supervisor;

c) transmit train, service telegrams and private correspondence on the basis of existing rules;

d) keep regular reports about the telegraph.

§ 11

Switchmen

(1) Persons who are responsible for maintenance, protection and operation of rail switch crossings are called switchmen.

(2) The switchman must:

a) maintain the post entrusted to him in full serviceability, making sure that the switches are intact, serviceable and proper;

b) take care of replacement and repair of everything that has deteriorated at the post, of cleanliness and timely lighting of signals;

c) observe that the post assigned to him and adjacent tracks are free for movement of rolling stock;

d) keep the switches always in the position that will be determined for this and transfer them: for passage of trains at the direction of the head of the station, and during manoeuvres at the direction of the person in charge of the manoeuvres or according to the requirements stated by the established signals;

e) be at the switch facing the expected train with the point blade; if there are several such switches at the post, then fix all the rest with devices adopted on the road – in the absence or damage of devices, such switches should be fenced off with stop signals; observance of this rule is not necessary for manoeuvres;

f) report immediately to the responsible authorities about all malfunctions on the track and switch points, notify station employees about the incident with established signals, and fence off the rolling stock or a place that impedes movement with signals.

Note: When switch crossings are centralised, the obligations of persons acting in this way are determined by special rules issued by the Railroad Administration.

§ 12

Train assemblers

(1) The production of any kind of movement of rolling stock within the station (station manoeuvres) can be entrusted to special persons, called train assemblers.

(2) The assembler is obliged to:

a) make sure of the proper condition and position of the track, switch crossings, structures, rolling stock and signals in the area of the forthcoming work;

b) supervise and monitor the work of couplers, switchmen and team of a shunting locomotive, as well as any other engine;



c) perform manoeuvres within the tracks indicated to him by the head of the station;

d) compose trains without deviating in any way from the rules in force with regard to signalling, speed, type, number, placement and coupling of rolling stock;

e) report immediately to the responsible authorities about all noticed malfunctions both in relation to the track, signals and rolling stock, and in relation to employees subordinate to the assembler;

f) monitor proper placement of cars on the tracks and their solid securing.

Note: For coupling and uncoupling of rolling stock, special employees may be appointed, called couplers, who act under the direct supervision of the assembler or the person in charge of the manoeuvres.

§ 13

Chief conductor

(1) The chief conductor is the head of the train that he accompanies.

(2) The chief conductor is obliged to:

a) make sure, when the train leaves the station, that the train is correctly composed, properly coupled, the rolling stock is loaded correctly, the brakes are working properly, signalling accessories are in the proper number and in good condition, and operation;

b) see that the train has the prescribed number of train team employees, and that they are properly distributed in the train;

c) observe the exact performance of the duties of the service of the train and locomotive team, as well as the observance of the established rules by all persons on the train;

d) monitor the stable and completely safe placement of cargo on open rolling stock;

e) engage the brake in certain cases;

f) govern the stop at the station and the departure of the train from the station in accordance with the rules in force for this;

g) make sure that the train that arrived at the station is intact and report this to the head of the station;

h) stop the train in all observed cases that threaten safety and correctness of movement, as well as prevent accidents with persons following in the train or staying on the track;

i) take appropriate measures to protect the stopped train, demand assistance to the damaged train and provide possible assistance to the injured;

j) maintain the established reporting on movement of trains.

§ 14

Conductors

(1) To service the train, to help the chief conductor, special persons are appointed, called conductors.

(2) The conductor is obliged to:

a) observe the correct loading of rolling stock and the proper traction of the train;

b) take care of the proper operation of the brake entrusted to him for maintenance; as well as about the proper condition and operation of signal accessories;

c) give stop signals in all cases that threaten safety of the train and the persons on it and being on the track;

d) operate the car brake when appropriate and in accordance with existing regulations;

e) execute immediately all orders of the chief conductor relating to movement of trains;

f) guard a train every time it stops.

§ 15

Drivers

(1) Regardless of the duties for care, maintenance and operation of the locomotive, the driver is obliged to:

a) while the locomotive is on station tracks, set it in motion only by order of the head of the station, by the signals of the chief conductor or person in charge of the manoeuvres, and when moving along the serviced turnouts, during execution of manoeuvres, upon receipt of a response signal from the switchman, in accordance with the regulation on signals;

b) after every stop of the train, set it in motion only on the departure signal given by the chief conductor;

c) before leaving the train, make sure that the train complies with the rules established on the road, and that the tender and the steam locomotive are correctly coupled to the train;

d) when the composition of the train does not comply with the specified rules, report this to the head of the station.

(2) In case of disagreement between the head of the station and the driver, these are resolved by the procedure established by the administration of each road.

(3) When single steam locomotives is operated, the duties of the chief conductor are assigned to the driver.

Annex to the Rail Business Journal
[«*Zheleznodorozhnoe delo*»],
1892, No. 45–46 ●

T



REVIEW 270

Once again about the law. Military law: transport aspects.

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES 274

- *Improving information interaction in decision support systems and managing the transportation process of raw materials supplies.*
- *Vertical dynamic forces in the contact area of vehicle wheels and rails within a ballastless track structure.*
- *Improving the methods for diagnosing the insulation of power transformers of the traction power supply system using mobile technical devices.*
- *Improving the efficiency of a diesel gas engine by regulating the ratio of air and fuel in cylinders.*



NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION 280

New editions released by Russian publishing houses and universities.



BIBLIO-DIRECTIONS





Military Legal Knowledge for Future Transport Employees (Review of the Three-Volume Monograph «Military Law»)



Sergey B. GLUSHACHENKO



Roman V. ZELEPUKIN

*Sergey B. Glushachenko*¹,
*Roman V. Zelepukin*²

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia,
St. Petersburg, Russia.

² Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia.

✉ ¹ sglushachenko@mail.ru.

✉ ² lexcomlex@yandex.ru.

Military Law. In 3 volumes. Volume III. Main Problems and Promising Directions of Military Legal Research [Voennoe pravo / In 3 tomakh. Tom III. Osnovnie problemy i perspektivnie napravleniya voenno-pravovykh issledovaniy]. Moscow, Centre for legal communications, 2021–2022, 680 p. ISBN 978-5-6042565-3-4.

ABSTRACT

The article considers and reviews the three-volume monograph «Military Law» under the general editorship of A. N. Savenkov and A. V. Kudashkin from the point of view of using its results in the process of training and professional activity of future employees in the transport sector. Positively evaluating the structure and content of the monograph, special attention is paid to the fact that it contains valuable information for the transport sector of the country. The authors of the review note that the monograph is able to meet the needs of modern transport

education, taking into account the need for future specialists to develop legal knowledge about military transport duties and the military segment of transport relations. The review accentuates the achievements in this area and substantiates the prospects for further research.

The authors of the review also believe that it would be possible to dwell in more detail on the issues of military transport duty, which could be an excellent addition to the reviewed three-volume monograph.

Keywords: military law, military security, military legislation, state bodies and organisations, defence, military transport obligation.

For citation: Glushachenko S. B., Zelepukin, R. V. Military Legal Knowledge for Future Transport Employees (Review of the Three-Volume Monograph «Military Law»). World of Transport and Transportation, 2023, Vol. 21, Iss. 1 (104), pp. 270–273. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-16>.

The full text of the article in Russian is published in the first part of the issue.
Полный текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

In 2022, the third volume of the monograph «Military Law» was published under the general editorship of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences A. N. Savenkov and Professor A. V. Kudashkin, summing up the final line under more than two years of work by the team of authors on this fundamental work^{12,3}.

The three-volume edition has become an event in the world of military law, which is a complex branch of legal science that regulates social relations that are developing to ensure protection of the Russian Federation from military dangers and military threats. In the monograph, the authors substantiate approaches to military law from the standpoint of post-nonclassical scientific rationality and form a scientific platform for integrating the concept of military legal knowledge into the structure of the modern scientific picture of the world.

The undoubted advantage of the work is its holistic, monographic, fundamental nature, its consideration of theoretical problems of military law, the current state of its main institutions and development prospects for the near future. A new subject of military law has been formulated, which includes the following main issues: the concept of war (armed conflict), the procedure and reasons for its declaration; legal bases of conducting war (armed conflicts); formation and implementation of state policy in order to ensure the military security of the state; mobilisation readiness of the military organisation of the state, economy, citizens to conduct armed struggle; the legal status (status) and responsibility of participants in military activities, the legitimacy of their use of weapons and other means of armed struggle, as well as a number of others.

It seems that the conducted research forms fundamentally new heuristic possibilities for systematic knowledge of law and its role in social activity, and is also essential for development of legal and military sciences and expansion of

diversity of modern social and humanitarian knowledge. The place of military law in the domestic legal system is substantiated and the characteristics of its real functioning in social life are revealed, the connection of military law with other sciences and the essence of this connection are revealed, which initiated a number of new conceptual studies [1–3].

The vastness of the research material attracts attention: the monograph examines the main scientific works from the beginning of development of Soviet military law science (late 40s of the last century), Ph.D. and D.Sc. theses of the Soviet and post-Soviet period on military law, as well as a significant number of foreign sources and experience of legal regulation of military activities of the leading countries of the world, including the USA and China.

The scientific community reacted vividly to the appearance of the monograph. This is eloquently evidenced by the already published reviews in authoritative periodicals, prepared by prominent scientists and public figures [4–9]. They invariably emphasise the fundamental nature of the research, the high level of the material presented, its theoretical and practical significance. In several reviews, which have the form of an academic discussion, there is also constructive criticism, reflecting the fact that some problematic issues that require additional study have remained outside the attention of the authors [10; 11].

One of these issues, it seems, is the problem of military transport duty, which could be an excellent addition to both the first and subsequent volumes. As it is known, the military transport obligation is established by Article 13 of the Federal Law of February 26, 1997, No. 31-FZ «On mobilisation training and mobilisation in the Russian Federation» and the Regulations on the military transport duty, approved by the Decree of the President of the Russian Federation of October 2, 1998 No. 1175.

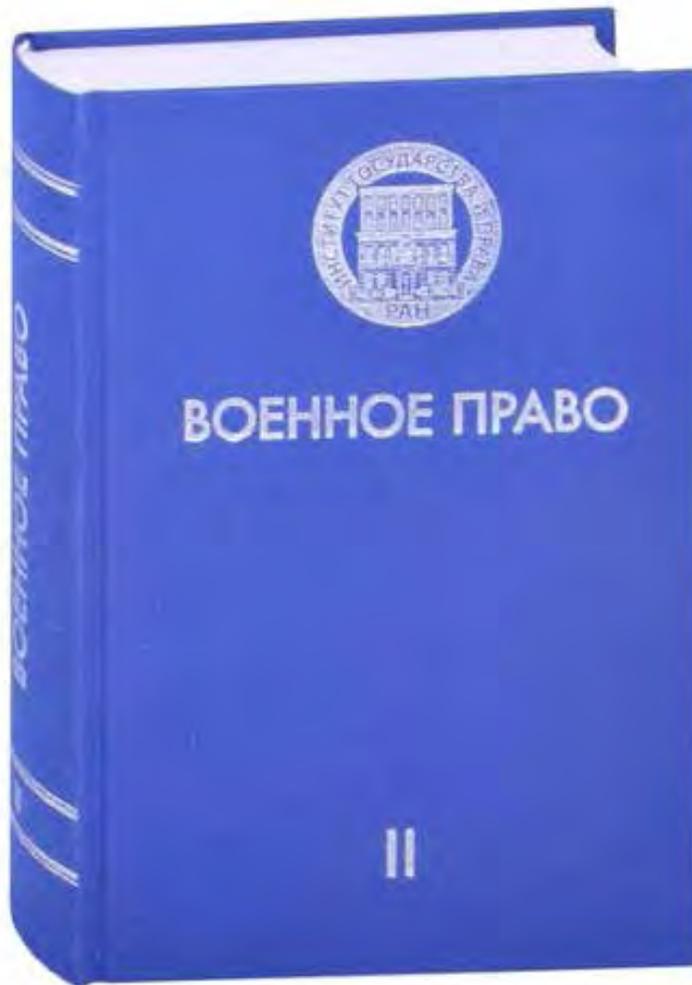
It applies to federal executive authorities, executive authorities of the constituent entities of the Russian Federation, local governments, organisations, including ports, marinas, airports, oil depots, fuel transshipment bases, gas stations, repair organisations and other organisations that ensure operation of vehicles, as well as on citizens-owners of certain vehicles. This issue could logically fit into the sections devoted to ensuring military security, preparing for the armed defence of the Russian Federation,

¹ Military Law. Under the gen. ed. of A. N. Savenkov, A. V. Kudashkin. Volume I. History and theory of military law (with a preface). Moscow, LLC «Center for legal communications», 2021, 560 p.

² Military Law. Under the gen. ed. of A. V. Kudashkin, V. K. Aulov, V. V. Baranenkoy [et al]. Volume II. The current state of military law (institutions of military law). Moscow, LLC «Center for legal communications», 2021, 888 p.

³ Military Law. Under the gen. ed. of E. A. Glukhov, V. M. Koryakin, A. V. Kudashkin [et al]. Volume III. Main problems and promising directions of military legal research. Moscow, LLC «Center for legal communications», 2022, 712 p.





mobilisation, registration and conscription work, the legal regime of the property of military organisations, and the regulation of various types of special administrative and legal regimes.

The most acute are the problems of accounting, preparation for transfer, the actual transfer of equipment to both legal entities and individuals, its further use and return, as well as payment of compensation in case of damage or destruction.

It should be noted that the transport theme closely intersects with the problems of military law. This also applies to issues of legal regulation of various types of support, including medical, mobilisation readiness, military transportation, and a number of others. Some authors of the monograph have already considered various issues of ensuring transport and fuel safety [12–14], its medical aspects

[15; 16], including the role of transport in the spread of mass diseases and their impact on functioning of the transport system on a global scale [17–19].

As has been repeatedly emphasised, the need for legal knowledge for employees of the transport sector can hardly be overestimated [20; 21]. In this regard, the possibility of preparing training programs based on the published monograph for the purpose of teaching military legal foundations, both in institutions of secondary vocational education and in higher educational institutions, including those training future transport employees.

In conclusion, it seems possible to emphasise that the monograph «Military Law» is a fundamental theoretical work that will undoubtedly enjoy a well-deserved interest among the a wide range of readers.

REFERENCES

1. Milovanovich, A., Kholikov, I. V., 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.
2. Bolshakova, V. M. Values and meanings of the main judicial act XX century: axiological concepts of the book A. N. Savenkov «Nuremberg: A Verdict for name of Peace» (Discussion materials). *Gosudarstvo i pravo*, 2022, Iss. 10, pp. 51–62. DOI: 10.31857/S102694520021788-7.
3. Zemlin, A. I. Issues of development of military legal science in the context of modern problems of ensuring the national security of Russia [*Voprosy razvitiya voenno-pravovoi nauki v kontekste sovremennykh problem obespecheniya natsionalnoi bezopasnosti Rossii*]. *Voennoe pravo*, 2022, Iss. 5 (75), pp. 8–14.
4. Chemezov, S. V. Powerful incentive for legal research in military science. *Gosudarstvo i pravo*, 2023, Iss. 3, pp. 27–32.
5. Blazheev, V. V. Three-volume monograph «Military Law». Under the general editorship of A. N. Savenkov, A. V. Kudashkin. *Gosudarstvo i pravo*, 2023, Iss. 2, pp. 40–42.
6. Ershov, V. V., Kachalov, V. I. Military law of Russia as a branch of law [*Voennoe pravo Rossii kak otrasl prava*]. *Rossiiskoe pravosudie*, 2023, Iss. 2, pp. 106–110.
7. Salmikov, V. P., Bolshakova, V. M., Zakhartsev, S. I. Institutionalisation of military law as a branch of law in post-non-classical scientific rationality (review of the monograph «Military Law» in 3 volumes) [*Instituzatsiya voennogo prava kak otrasli prava v postneklassicheskoi nauchnoi ratsionalnosti (retsenziya na monografiyu «Voennoe pravo» v 3 tomakh)*]. *Pravo. Zhurnal Vysshei shkoly ekonomiki*, 2023, Vol. 16, Iss. 1, pp. 251–256.
8. Zemlin, A. I. Topical issues of military activity of the state: legal dimension [*Aktualnie voprosy voennoi deyatelnosti gosudarstva: pravovoe izmerenie*]. *Voennoe pravo*, 2022, Iss. 6 (76), pp. 233–237.
9. Kholikov, I. V. History and theory of military law: the first fundamental research. *Voennoe pravo*, 2021, Iss. 5 (69), pp. 222–228.
10. Kumankov, A. D., Bolshakova, V. M., Naumov, P. Yu., Novikov, N. S. Dialogue on the Meanings of Military Law and Military Law as a Value (we discuss Chapter 5 «The Social Value of Military Law» of Volume I of the monograph «Military Law»). *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2022, Iss. 7 (300), pp. 2–12.
11. Gavrilov, S. O., Glebov, I. N., Chukin, S. G. [et al]. Law at the bifurcation point: discussion of the conceptual study military problems of International Law (Discussion in the format of the Round Table) based on the materials of Chapter 6 «Military problems of International Law» Volume III of the monograph «Military Law»). *Gosudarstvo i pravo*, 2022, Iss. 12, pp. 59–67. DOI: 10.31857/S102694520023301-2.
12. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I. Current issues of metro safety technical regulations. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, Vol. 130, pp. 236–247. DOI: 10.1007/978-981-33-6208-6_24.
13. Zemlin, A., Kholikov, I., Mamedova, I., Zemlina, O. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vladivostok, 2021, P. 042002. DOI: 10.1088/1755-1315/666/4/042002.
14. Kholikov, K. N., Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M. [et al]. Federal state control (supervision) over compliance with legislation in the field of ensuring the safety of fuel and energy complex facilities: a new stage regulation and enforcement. *Ugol*, 2022, Iss. 10 (1159), pp. 66–71. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-66-71.
15. Klyonov, M. V., Kholikov, I. V. Legal and Organisation 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. Bukhtiyarov, I. V., Kholikov, I. V., Bolshakova, V. M., Naumov, P. Yu. Experience of conceptualisation of military aspects of medical law (discussion of chapter 14 of the textbook «Medical Law of Russia», editor-in-chief A. A. Mokhov, Prospect Publishing House, 2022, – discussion materials). *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 2023, Vol. 63, Iss. 1, pp. 67–73. DOI: 10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73.
17. Zhdanov, K. V., Kholikov, I. V. Assistance to the Republic of Guinea in the fight against the Ebola hemorrhagic fever epidemic [*Okazanie pomoshchi Gvineiskoi Respublike v borbe s epidemiei gemorragicheskoi likhoradki Ebola*]. *Voennomeditsinskiy zhurnal*, 2015, Iss. 2 (336), pp. 93–95.
18. Sazonova, K. L., Kholikov, I. V. International legal aspects of responsibility of states and international organisations for the spread of epidemics, pandemics and mass diseases [*Mezhdunarodno-pravovye aspekty otvetstvennosti gosudarstv i mezhdunarodnykh organizatsii za rasprostranenie epidemii, pandemii i massovykh zabolevaniy*]. *Voennomeditsinskiy zhurnal*, 2015, Iss. 8 (336), pp. 51–57.
19. Sazonova, K. L., Kholikov, I. V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility. In: *Ethical Challenges for Military Health Care Personnel*. Edited by Daniel Messelken and David Winkler. New York, Routledge, 2018, pp. 38–51.
20. Kholikov, I. V. Legal Knowledge for Future Transport Employees. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss.1 (86), pp. 260–264. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-260-264.
21. Kholikov, I. V. Law and Transport: Continuing the Topic. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 4 (89), pp. 246–253. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-246-253.

Information about the authors:

Glushachenko, Sergey B., D.Sc. (Law), Professor at Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia, sglushachenko@mail.ru.

Zelepukin, Roman V., Ph.D. (Law), Associate Professor at Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia, lexcomlex@yandex.ru.

Article received 09.03.2023, approved 13.03.2023, accepted 15.03.2023.



SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES SUBMITTED AT RUSSIAN TRANSPORT UNIVERSITIES

The texts of the abstracts originally written in Russian are published in the first part of the issue.

Тексты авторефератов на русском языке публикуются в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-17>

Khmelev, A. S. Improving information interaction in decision support systems and managing the transportation process of raw materials supplies. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Sovershenstvovanie informatsionogo vzaimodeistviya v sistemakh podderzhki prinyatiya reshenii i upravleniya perevozochnym protsessom syrievykh postavok. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk*]. St. Petersburg, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 2022, 18 p.

Metallurgical enterprises of the full cycle are characterised by a significant volume of cargo transportation, a large range of products and complex production technology. Consolidation of all data from the carrier, rolling stock operator and metallurgical enterprise into a single network will allow employees to fully control the supply chain, while significantly reducing the amount of operational interaction.

The objective of the study is to improve information interaction in the control systems of the transportation process of raw materials supplies by developing an information decision support system within a single space for all participants in the transportation. The goal is achieved by solving the following tasks:

1) Analysis of the current state of the theory and practice of information interaction in the management systems of the transportation process between the carrier, enterprise and operator companies and identification of existing problems.

2) Study of the technological process of transportation of raw materials for the needs of ferrous metallurgy.

3) Development of a mathematical model and algorithms for functioning of the decision support information system.

4) Determination of the technical and economic efficiency of possible solutions.

Scientific novelty:

1) A methodology was developed for construction and operation of an information decision support system for organisation, management and control of movement of raw materials, which allows end-to-end monitoring of the entire logistics chain.

2) The analysis of the statistical time series of trains running with blast-furnace coke at Zarinskaya-Novolipetsk test site was carried out, the numerical characteristics of random variables were calculated, an assessment was made for the correspondence of the studied distributions to the normal one, and stochastic models for forecasting the arrival and stocks of cars were built.

3) The concept of a single information field for all participants in the transportation process in the field of supplies of raw materials from ferrous metallurgy was practically applied and a mathematical model of transport services for a metallurgical enterprise was suggested based on the proposed new principles of information interaction.

The main results of the study are as follows.

1) The Russian ferrous metallurgy and railway cargo transportation markets are characterized by a high level of concentration of production assets, which necessitates continuous improvement of railway transportation and cost reduction by optimizing logistics costs.

2) The functioning of the decision support information system in organisation, management and control of movement of raw materials allows closing the information gap, providing end-to-end monitoring throughout the supply chain and making management decisions in case of deviations in accordance with the decision matrix. In the course of the study, a mathematical apparatus was developed and algorithms for operation of such an information system were built.

3) The arrival forecasting model was developed using probabilistic methods. Four statistical series of train running times were compiled and analysed, the sample for each of which consisted of 100 values.

On the developed model, experimental calculations of real input data were performed using Statistica and MathLab software packages. As a result, probabilistic graphs were constructed for each type of metallurgical coke in the summer and winter periods.

4) The annual economic effect of implementation of the information system only regarding blast-furnace coke will be 11 million 646,2 thousand rubles.

2.9.4. – Management of transportation processes.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Mikhailov, S. V. Vertical dynamic forces in the contact areas of vehicle wheels and rails in a ballastless track structure. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Vertikalnie dinamicheskie sily v kontaktakh koles ekipazha i relsov v bezballastnoi konstruktsii puti. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2022, 24 p.

At present, the railway transport of Russia faces the task of increasing the mass of goods and the speed of transportation, which requires development of heavy and high-speed traffic. The increase in speed of movement and axle load, as well as various climatic conditions, require the use of new structures for the track superstructure, subject to the obligatory preservation of its stability. To solve such problems, ballastless structures are widely used in world practices, however, studies of the areas of their use in the conditions of Russian railways have demonstrated their limited applicability. Thus, the task of choosing the optimal structures of the track superstructure for specific operating conditions is extremely relevant, and its solution requires the calculation of the life cycle cost. At the same time, full-scale tests are very difficult, and

often not economically feasible, which indicates the need for mathematical simulation. One of the widely used practical models for solving this problem is the model of track oscillations as a three-layer beam lying on a modified Winkler foundation. This model makes it possible to obtain probabilistic estimates of such characteristics of the track superstructure as the angles of rotation of sections, bending moments, transverse forces, deflections, and stresses in structural elements. Knowledge of such estimates allows solving the problems of increasing the service life of the structure, predicting repairs of the track superstructure, studying the behaviour of the structure during impact interaction between the wheel and the rail, and makes it possible to estimate the probability that these characteristics will exceed the existing standard values. The use of this model makes it possible to calculate the average values and standard deviations of random processes for each of the considered layers, which is important for a number of problems related to the study of ballastless structures. Finding these probabilistic characteristics requires calculating the matrix of mutual spectral densities of vertical dynamic forces acting on the track, however, at present there is no method for finding it for a three-layer structure model, and an approximate estimate is used to solve current problems.

The objective of the study is to develop a method for predicting the service life of a ballastless track, taking into account vertical dynamic forces caused by track irregularities in the profile. To achieve this objective, the following tasks were set and solved:

1. Development of a method for calculating the matrix of mutual spectral densities of vertical dynamic forces through track roughness in the profile in the model of a three-layer beam lying on a modified Winkler foundation.

2. Obtaining characteristics of random processes of change in deflections and stresses in the layers of a ballastless structure from the effect of vertical dynamic forces caused by track irregularities.

3. Determination of the influence of random processes of change in deflections and stresses



in the layers of a ballastless structure on its service life.

4. Evaluation of the discrepancies between the results of calculations of the service life of a ballastless track obtained using the proposed method compared to the existing one.

The main results of the study are as follows.

1. A method was developed for finding the matrix of mutual spectral densities of vertical dynamic forces through track irregularities in the profile in the model of track vibrations as a three-layer beam lying on an elastic Winkler foundation, which makes it possible to evaluate the statistical characteristics of the stress state and deflections in structural elements of a ballastless track.

2. The developed mathematical and computer model for calculating the service life of ballastless track structures using the method proposed by the author can be used in calculating the life cycle of the ballastless track for various operating conditions and substantiating the feasibility of using one or another ballastless structure or ballast track.

3. The difference in the results of calculating the service life of a ballastless track structure for existing HSR conditions using the model of a single-layer beam and a three-layer beam is about 5–10 %.

4. With an increase in the speed of movement and load on the axle, the discrepancy between the results of calculations performed using the models of a single-layer and three-layer beam increases, and, with sufficiently large values of these parameters (more than 160 km/h and 25 t/axle), can exceed 20 %, which makes it reasonable to use the method proposed in this paper in the future.

5. The proposed mathematical model and numerical calculations were used to determine the permissible geometric dimensions of a concrete bearing slab in development of the first edition of GOST R [Russian State standard] «Ballastless track of high-speed railway lines. Safety requirements and control methods», as well as for formation of proposals for changing GOST 32698-2014 «Intermediate rail fastening of the railway track. Safety requirements and control methods». The calculation results were used in development

of a new type of rail fastening (applications for patents No. 2022112623, 2022112624, 2022112625, 2022112626, 2022112627 dated 11.05.2022).

6. The tasks of determining the influence of the values of random processes of changing deflections and stresses, taking into account vertical dynamic forces, set in the work, were solved, the objective of the work to determine the service life of a ballastless track was achieved.

7. The prospects for further development of this topic are to carry out calculations for various types of vehicles, track designs and operating conditions, and apply the proposed model for statistical estimates of random processes that occur when calculating impact interaction in the carriage–railway system.

2.9.2. – Railway track, survey and design of railways.

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Volchanina, M. A. Improving the methods of diagnosing the insulation of power transformers of the traction power supply system using mobile technical means. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie metodov diagnostirovaniya izolyatsii silovykh transformatorov sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya s primeneniem mobilnykh tekhnicheskikh sredstv. Avtoref. dis... kand.tekh.nauk]. Omsk, OSTU publ., 2022, 20 p.

The task of creating conditions for sustainable, safe, and efficient functioning of railway transport as an organising element of the country's transport system is reflected in the «Strategy for scientific and technological development of the holding company Russian Railways for the period up to 2025 and for the future up to 2030 (White Book)». Ensuring reliable trouble-free operation of power supply systems in operation in railway transport corresponds to priority areas for development of science, technology, and engineering in the Russian Federation. The analysis of data on failures of power transformers of traction substations of JSC Russian Railways shows that transformers

whose service life corresponds to the period before the first overhaul and is about 12 years are mainly susceptible to damage. According to statistics, the most damaged parts of power transformers are the winding – 52 %, and bushings – 27 %. This is explained by the fact that, compared with substation transformers of power systems and industry, power transformers of the traction power supply system operate in more difficult conditions. GOST 52719-2007 «Power transformers. General Specifications» does not give an accurate assessment of reliability indicators for power transformers of traction substations of electric railways. In this regard, during operation of power transformers in the traction power supply system, it is recommended to carry out additional diagnostics of their condition periodically. The level of reliability of the traction power supply system (TPS) directly affects both safety of train traffic and uninterrupted movement of trains, which is especially important when passing heavy trains, since the current loads increase significantly and become higher than the nominal values. The use of continuous diagnostic methods makes it possible to determine the actual technical condition and residual life of power transformers in the traction power supply system. Thus, creation of technical means, methods, and algorithms for functioning of mobile automated systems for diagnosing the insulation of power transformers is an urgent task.

The objective of the thesis work is to increase the efficiency of operation of power transformers as part of a traction power supply system by improving methods for assessing the technical condition of insulating structures using mobile diagnostic tools.

To achieve this objective, the following tasks were formulated and solved in the work:

1. To study the causes for formation and types of defects in the insulating structures of power transformers of the traction power supply system and to determine methods for diagnosing their technical condition.

2. To determine the threshold values for development of defects in insulating structures of power transformers and to justify the

diagnostic parameters for determining the presence of defects.

3. To develop a method for assessing the technical condition of the insulation of power transformers of the traction power supply system during operation.

4. To develop a method for determining the location of a possible formation of an insulation defect and a method for diagnosing the state of the inputs of power transformers of the traction power supply system based on measuring the parameters of the electric field.

5. To improve the technology of overhaul testing of power transformers of the traction power supply system to ensure uninterrupted operation of the traction power supply system.

6. To develop mobile technical means for assessing the technical condition of the insulating structures of power transformers and to test them.

As a result of the research carried out, new scientifically based technical and technological solutions and developments were obtained, aimed at improving the technology and technical means for diagnosing the insulating structures of power transformers of the traction power supply system. Their application will improve the efficiency of operation of power transformers in the traction power supply system.

The main scientific and practical results of the thesis work are as follows:

1. The analysis of the causes of failures of power transformers and of existing methods for diagnosing the insulating structures of power transformers of the traction power supply system has been carried out, the advantages of using acoustic control methods with registration of partial discharge parameters and measurement of electric field parameters near high-voltage bushings have been substantiated.

2. The threshold values of indicators of recorded signals for the «Normal», «Pre-emergency» and «Limit» states of insulation are determined by identifying the laws of distribution. The parameters of signals with partial discharges and acoustic emission signals caused by mechanical influences are indicated.

3. A method has been developed for detecting the pre-emergency state of the insulation of the



windings of power transformers of the traction power supply system during operation, taking into account development of insulation defects under conditions of seasonal temperature changes.

4. A method for determining the location of formation of a defect in the insulation of a power transformer is proposed, taking into account the propagation speed of acoustic pulses in transformer oil and metal structures. The influence of interfering factors on obtaining data on the current state of the transformer insulation has been leveled.

5. A technique has been developed for diagnosing the state of power transformer bushings based on the analysis of electric field distribution data near the bushings under study. It was found that the deviation of the symmetry of the field strength in one phase by more than 10 % indicates the appearance of insulation defects.

6. Mobile technical means have been developed for diagnosing the insulation of power transformers, which include a defect simulator that measures the parameters of an acoustic signal under conditions of seasonal temperature changes. A criterion is proposed for detecting the growth of a defect from the normal state under conditions of seasonal temperature changes by the value of the reference voltage of the defect simulator.

7. An improved technology for overhaul testing of power transformers of the traction power supply system is proposed, which makes it possible to ensure the uninterrupted operation of the traction power supply system by detecting the pre-emergency state of power transformers without shutting them down. As recommendations and prospects for further development of the thesis topic, it is proposed to conduct research aimed at developing a control system for a digital traction substation of a traction power supply system, studying the effectiveness of control actions based on signals from various subsystems for diagnosing the state of insulating structures of power transformers.

2.9.3. – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Omsk State Transport University.

Zhuravlev, A. N. Improving the efficiency of a diesel gas diesel engine by regulating the ratio of air and fuel in cylinders. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti raboty teplovoznogo gazodizelya putem regulirovaniya sootnosheniya vozdukha i topliva v tsilindrakh. Avtoref. dis... kand. tekh. nauk]. Samara, SSTU publ., 2022, 20 p.

Reducing the cost of fuel and energy resources (FER) is one of the priority areas for development of the locomotive complex of JSC Russian Railways and industrial railway transport enterprises. The use of alternative fuels, such as hydrogen, natural gas, etc., makes it possible to reduce the cost of fuel and energy resources, provided that the power plant is stable in the entire range of operating modes and that the required ratio of fuel and air in the cylinders is regulated. The most attractive from an economic point of view and the most time-consuming technical solution is modernisation of the existing power plants of diesel locomotives intended for operation using a combined cycle, for example, gas-diesel. The domestic experience of transferring diesel locomotive power plants to the gas-diesel cycle has shown the impossibility of ensuring stable (without fuel ignition in the cylinder) operation at idle and low loads (up to 40 % of the rated power) due to unstable supply of the pilot portion of diesel fuel and low volumetric concentration of gas in the cylinder, therefore, in these modes, only diesel fuel was supplied.

In the thesis work, the performance of a power plant equipped with working fluid throttling devices was studied when some of the cylinders were turned off to solve the problem of providing the required conditions for igniting natural gas in the entire range of operating modes.

The objective of the study is to ensure stable and economical operation of a gas-diesel engine of a shunting diesel locomotive at idle and low loads by controlling the ratio of air and fuel in the cylinders. To achieve the objective set in the work, the following tasks were formulated and successfully solved:

1. A study was carried out and an analysis is made of the features of implementation of

the gas-diesel cycle in relation to diesel power plants.

2. A refined mathematical model was proposed for calculating the performance indicators of a diesel power plant when it is transferred to a gas-diesel operation cycle.

3. A calculation was made to determine the range of change in the throttle valve section, which ensures stable operation of the power plant.

4. The number of working cylinders was determined, which ensures stable operation of the power plant under load.

5. An algorithm for controlling the throttle valve cross section and the number of operating cylinders of the locomotive power plant was developed.

6. Technical and economic assessment of effectiveness of implementation of the results of the work was carried out.

Based on the results of the research, the following main conclusions were drawn:

1. The analysis of features of implementation of the gas-diesel cycle in relation to diesel power plants showed that there is a problem of gas ignition at low positions of the driver's controller, associated with an unstable supply of a small amount of pilot portion of fuel and a low volume concentration of gas. The most advantageous solution to the problem from the point of view of minimal intervention in the regular engine systems is the use of an air throttling device at the engine inlet, as well as turning off part of the cylinders.

2. The developed refined mathematical model of the working process of a diesel locomotive when operating a gas-diesel cycle with air throttling at the intake manifold inlet and shutting off part of the cylinders makes it possible to quantify the change in the performance of a gas-diesel generator set depending on the throttle valve cross section and the number of working cylinders.

3. As a result of the research, it was found that in order to ensure safe operation of a gas diesel engine based on 1-PD4D power plant of TEM18DM shunting locomotive in terms of maintaining the permissible values of the temperature of the working fluid, the throttle

valve cross section should change within the range of 0,004–0,0002 m².

4. Based on the results of mathematical modelling, the number of working cylinders was determined, at which the permissible temperatures of the working fluid behind the exhaust valves and in the exhaust manifold before the turbine are provided: at idle and at the first position of the driver's controller (PDC) – at least 2 cylinders; at the second PDC – at least 3 cylinders; at the third PDC – at least 4 cylinders.

5. The conducted complex of studies showed that when the working fluid is throttled and some of the cylinders are turned off, it is possible to provide a volume concentration of gas in the cylinder of at least 2,7 %, which is necessary for igniting gas fuel in the entire range of operating modes.

6. In order to automatically maintain the volume concentration of gas in the cylinder of at least 2,7 % and not exceed the permissible values of the temperature of the working fluid at the outlet of the cylinders, an algorithm has been developed that includes a flexible change in the cross section of the throttle valve and cyclic fuel supply, as well as turning off part of the cylinders.

7. The use of devices for throttling air and shutting off part of the cylinders when operating a gas-diesel cycle will provide a positive economic effect, the value of which will depend on the engine load modes. When loading a shunting diesel locomotive in accordance with GOST 34514-2019, the annual savings in operating costs for fuel in comparison with the standard configuration of a diesel locomotive is 5,3 million rubles per TEM18DM locomotive.

As recommendations and prospects for further development of the topic of the thesis work, it is proposed to clarify the processes of mixture formation and take into account the technical features of devices and methods for ensuring gas supply and organising operation of an engine within a gas-diesel cycle.

2.9.3. – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed at the joint-stock company Scientific Research Institute of Railway Transport (JSC VNIIZhT), defended at Samara State Transport University. ●





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

**Список на русском языке публикуется
в первой части данного выпуска.**

**The list of titles in Russian is published
in the first part of the issue**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-18>

Ashikhmin, S. A., Ashikhmina, E. A. Car arrangement: Textbook [Ustroystvo avtomobilei: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 318 p. ISBN 978-5-0054-0399-5.

Berdnikov, A. A. Evaluation of mobility of active road trains: Monograph [Otsenka podvizhnosti aktivnykh avtopoezdov: Monografiya]. Perm, Publ. house of PVI of national guard troops, 2023, 234 p. ISBN 978-5-600-03502-7.

Chalova, M. Yu., Grigoriev, P. A., Neklyudov, A. N., Troshko, I. V. Modern track machines for turnout switches: Study guide [Sovremennye putevie mashiny dlya strelchennykh perevodov: Uchebnoe posobie]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2023, 103 p. ISBN 978-5-907710-09-2.

Chalova, M. Yu., Neklyudov, A. N., Grigoriev, P. A., Troshko, I. V. Straightening-tamping machine for turnout switches UNIMAT 08-275/3S: Study guide [Vypravochno-podvivochno-riktovochhnaya mashina dlya strelchennykh perevodov UNIMAT 08-275/3S: Uchebnoe posobie]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2023, 97 p. ISBN 978-5-907710-18-4.

Denisov, A. S., Grebennikov, A. S., Grebennikov, S. A. Automotive spare materials: Textbook [Avtomobilnye ekspluatatsionnye materialy: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 238 p. ISBN 978-5-0054-0402-2.

Doroshenko, A. N. Construction of highways and airfields: Textbook [Stroitelstvo avtomobilnykh dorog i aerodromov: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 239 p. ISBN 978-5-0054-0396-4.

Ermakova, E. V. Management of financial and economic stability of the production and economic system [Upravlenie finansovo-ekonomicheskoi ustoychivostyu proizvodstvenno-ekonomicheskoi sistemy]. Moscow, MSEU publ., 2023, 130 p. ISBN 978-5-6049431-0-6.

Ferafontova, M. V. Information technology as a tool for optimising business processes in a modern organisation: Monograph [Informatsionnye tekhnologii kak instrument optimizatsii biznes-protsessov v sovremennoi organizatsii: Monografiya]. Ufa, Omega science publ., 2023, 219 p. ISBN 978-5-907581-90-6.

Galina, A. V., Sliitsan, A. E., Sitov, A. N. The choice of technology and rational strategy in organization of transportation of certain types of cargo: Educational and methodological manual [Vybor tekhnologii i ratsionalnoi strategii pri organizatsii perevozok otdelnykh vidov gruzov: Uchebno-metodicheskoe posobie]. St. Petersburg, Publ. house of GUMRF, 2023, 61 p.

Goncharova, M. A., Bondarev, B. A., Tkacheva, I. A., Zaeva, A. G. Technologies and applications of efficient road construction composites: Monograph [Tekhnologii i primeneniye effektivnykh dorozhno-stroitelnykh kompozitov: Monografiya]. Lipetsk-Elets, Typography, 2023, 166 p. ISBN 978-5-94947-251-4.

Gorbatenko, D. S. Systematic approach to preventive transport safety: Scientific monograph [Sistemnyy podkhod k profilaktike bezopasnosti na transporte: Nauchnaya monografiya]. Moscow Aviation Institute (National Research University, Moscow, At the Nikitsky Gate, 2023, 161 p. ISBN 978-5-00170-785-1.

Grigorieva, S. V. Development of methodology for economic analysis of sustainability of cargo transport enterprises: Monograph [Razvitie metodologii ekonomicheskogo analiza ustoychivosti gruzovykh aviotransportnykh predpriyatii: Monografiya]. St. Petersburg, Online typography, 2023, 163 p. ISBN 978-5-907723-05-4.

Karagodin, V. I. Automotive engine maintenance and repair: Textbook [Tekhnicheskoe obsluzhivaniye i remont avtomobilnykh dvigatelei: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 271 p. ISBN 978-5-0054-0772-6.

Kobzev, V. A., Alaev, M. M. Technical means of ensuring traffic safety in railway transport: Textbook [Tekhnicheskie sredstva obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: Uchebnik]. Kursk, RUT (MIIT) publ., 2023, Part 1, 178 p. ISBN 978-5-907710-01-6.

Kopytenkova, O. I., Vilk, M. F., Sachkova, O. S., Levanchuk, L. A. Technosphere safety of transport systems [Tekhnosfernaya bezopasnost transportnykh sistem]. FSUE VNIIZhT Rospotrebndzor. Moscow, Author's workshop of A. A. Davgunenko, 2023, 220 p. ISBN 978-5-907450-50-9.

Kravchenko, A. E., Pastukhov, M. A. Modern computer systems and information technologies in the field of road construction: theory and practice: Textbook [Sovremennye kompyuternye sistemy i informatsionnye tekhnologii v sfere dorozhnogo stroitelstva: teoriya i praktika: Uchebnoe posobie]. Krasnodar, KubSTU publ., 2023, 327 p. ISBN 978-5-8333-1205-6.

Levinson, M. The Box: How a Cargo Container Made the World Smaller and the Global Economy Bigger [Yashchik: kak gruzovoi konteyner sdelal mir menshe, a mirovuyu ekonomiku bolshe]. Moscow, Bombora; Eksmo publ., 2023, 520 p. ISBN 978-5-04-109228-3.

Macheret, D. A., Valeev, N. A. Fundamentals of the economics of cargo and passenger transportation: Study guide [Osnovy ekonomiki gruzovykh i passazhirskikh perevozok: Uchebnoe posobie]. Moscow, VNIIZhT publ., 2023, 100 p. ISBN 978-5-6049674-0-9.

Muraviev, V. V., Tapkov, K. A. Evaluation of residual stresses in differentially heat-strengthened rails by the acoustic method: Monograph [Otsenka ostatochnykh napryazhenii v differentsirovannom termouprochnennykh rel'sakh akusticheskim metodom: Monografiya]. Izhevsk, Publ. house of UIR ISTU n.a. M. T. Kalashnikov, 2023, 153 p. ISBN 978-5-7526-1000-4.

Nutovich, V. E., Pashkov, N. N., Larin, O. N. [et al]. Modern transport and logistics technologies for cargo delivery: Monograph [Sovremennye transportno-logisticheskie tekhnologii dostavki gruzov: monografiya]. RUT (MIIT), Institute of Management and Digital Technologies. Moscow, Ru-science.com, 2023, 106 p. ISBN 978-5-466-02057-1.

Oganyan, E. S. Strength of traction rolling stock: Study guide [Prochnost tyagovogo podvizhnogo sostava: Uchebnoe posobie]. RUT (MIIT), Russian Open Academy of Transport. Moscow, TransLit publ., 2023, 73 p. ISBN 978-5-94976-093-2.

Samoryadov, S. V., Telyatnikova, N. A. Design of earthworks for construction of a section of a railway line: Educational and methodological manual [Proektirovaniye zemlyannykh rabot po stroitelstvu uchastka zheleznodorozhnoi linii: Uchebno-metodicheskoe posobie]. Moscow, 2023, 47 p. ISBN 978-5-93454-296-3.

Serebrovsky, V. I., Ageev, E. V., Konchin, V. A. [et al]. Restoration and hardening of parts of automotive and tractor equipment using powders obtained by electroerosive dispersion of hard alloy waste: Monograph [Vosstanovleniye i uprochneniye detalei avtotraktornoi tekhniki s ispolzovaniem poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdykh splavov: monografiya]. Kursk, Publ. house of Kursk Agriculture Academy, 2023, 99 p. ISBN 978-5-7369-0885-1.

Shelkunova, N. O., Khabardina, A. V., Khabardin, V. N. Waste production of road transport enterprises: Study guide [Otkhody proizvodstva predpriyatii avtomobilnogo transporta: Uchebnoe posobie]. Molodezhny, Publ. house of Irkutsk SAU, 2023, 113 p. ISBN 978-5-91777-244-8.

Shishkina, I. V. Railway track maintenance: railway track construction: Study guide [Tekhnicheskoe obsluzhivaniye zheleznodorozhnogo puti: ustroystvo zheleznodorozhnogo puti: Uchebnoe posobie]. Moscow, Pero publ., 2023, 170 p. ISBN 978-5-00204-980-6.

Shmachtenko, V. V., Ivanov, V. G., Advakatov, A. A., Bryukhanov, S. A. Magnitoteleviation transport technologies: English-Russian Dictionary-Reference. St. Petersburg, Renome publ., 2023, 333 p. ISBN 978-5-00125-596-3.

Simdyankin, A. A., Chatkin, M. N. Mathematical modelling of technical systems: graphical and simplex methods, transport problem: Textbook [Matematicheskoe modelirovaniye tekhnicheskikh sistem: graficheskii i simpleks metody, transportnaya zadacha: Uchebnoe posobie]. Saransk, Publ. house of Mordovia University, 2023, 176 p. ISBN 978-5-98344-714-1.

Stepanov, A. A. Car technical design: Textbook [Ustroystvo avtomobilei: Uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2023, 303 p. ISBN 978-5-0054-0403-9.

Tkalenko, N. S., Sharutina, V. A. Fundamentals of technical operation and repair of transport and transport-technological machines and equipment: Textbook [Osnovy tekhnicheskoi ekspluatatsii i remonta transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya: Uchebnik]. Novosibirsk, SGUVT publ., 2023, 141 p. ISBN 978-5-8119-0943-8.

Yashina, M. V., Tatashv, A. G., Susoev, N. P. [et al]. Models of transport flows and particle dynamics based on cellular automata, stochastic and numerical studies [Modeli transportnykh potokov i dinamiki chastits na baze kletochnykh avtomatov, stokhasticheskikh i chislennykh issledovaniy]. 2023, 157 p. ISBN 978-5-7962-0296-8.

Compiled by Natalia OLEYNIK ●

RUSSIAN AVIATION CELEBRATES ITS 100TH ANNIVERSARY



February 9, 2023, marks the 100th anniversary of the founding of domestic civil aviation. The decree on the celebration of the anniversary date was signed by the President of the Russian Federation Vladimir Putin.

100 years ago, on February 9, 1923, the Council of Labour and Defence of the USSR adopted a resolution «On the assignment of technical supervision of air lines to the Main Directorate of the Air Fleet and on the organisation of the Civil Aviation Council». On March 17, 1923, Dobrolet appeared: the first voluntary air society that developed at the expense of domestic citizens' contributions. Thus, Russian aviation was born thanks to the support of the people, who, despite the difficulties of that time, united for a common goal – to create the industry necessary for the country.

For a century, outstanding aircraft designers and aviators worked in our country, who determined the development not only of the Russian, but also of the world aviation industry. Among them were Andrey Tupolev, Alexander Yakovlev, Pavel Sukhoi, Sergey Ilyushin, Mikhail Mil, and many others. With their ideas, design projects and talent, the world, industrialisation, passenger mobility received a new round and a new pace of movement forward.

Today, Russian civil aviation has become one of the most important sectors not only of the transport complex, but also of the entire Russian economy. Civil aviation services are used by millions of Russians every day, assisting in fulfilling their business tasks or maintaining warm relations with their relatives and friends. In 2022 alone, Russian airlines transported over 95 million people.

On February 9, President of the Russian Federation Vladimir Putin met with representatives of the civil aviation industry. The event was timed

to coincide with the celebration of the 100th anniversary of domestic civil aviation.

«We are meeting on the 100th anniversary of Russian civil aviation. I would like to sincerely congratulate you, all your colleagues, veterans and those who are just joining the industry, on such a significant milestone in the development of Russian domestic aviation, in this case civil aviation», the President said.

The Head of State noted the modernisation of the Single Air Traffic Management System. «This work was carried out under the relevant federal targeted programme, and the Single System's enlarged regional centres will increase Russia's airspace capacity and improve flight safety», the President stressed.

Over the past 11 years, an updated air navigation system has been created in Russia. The 104 existing regional air traffic management centres were replaced by 14 enlarged regional centres. They are located in Moscow, St. Petersburg, Rostov-on-Don, Samara, Yekaterinburg, Tyumen, Novosibirsk, Krasnoyarsk, Irkutsk, Yakutsk, Khabarovsk, Magadan, Kaliningrad and Simferopol.

All enlarged ATM centres are equipped with modern technical means of domestic production, including the latest generation automated air traffic control system.

«I want to stress that we will continue to develop airport, transport and navigation infrastructure of Russia, build modern airports and renovate existing ones. These are, of course, large government plans that are in full accordance with our national development goals», said V. V. Putin following the results of the reports. «By the end of this year, 18 airports should be renovated, and another 16 next year». Vladimir Putin also stressed that the modernisation of the airport network is a good incentive for the development of the regions and Russia as a whole. «This means a more convenient life for people as it provides for easier movement across our enormous country. This is being done for people to travel more conveniently and cover this enormous space easier from the economic point of view», the President said.

Based on materials of the websites

<http://kremlin.ru/events/president/news/70484>;
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10618>;
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10603> ●



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 21, Iss. 1, 2023

Editor-in-Chief Boris Lyovin

For your letters:
Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel. +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:
127994, Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Российский университет
транспорта,
Издательство «Транспорт РУТ»
Тел.: (495)6842877
e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >