

Т

ISSN 1992-3252

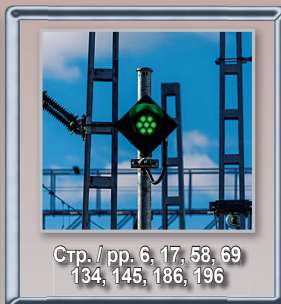
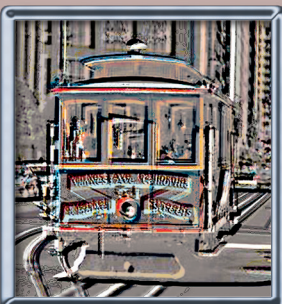
ТРАНСПОРТА

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

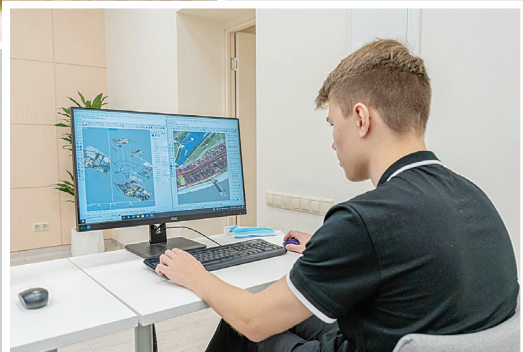
5 2021
Том / Vol. 19

ПУТИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ: ОБЩИЕ ТРЕНДЫ
И ЛОКАЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ

TRACKS OF TRANSPORT
TECHNOLOGY: GENERAL TRENDS
AND LOCAL ADAPTATION



Стр. / pp. 6, 17, 58, 69
134, 145, 186, 196



ДЕТСКИЙ ТЕХНОПАРК «МОСКОВСКИЙ ТРАНСПОРТ»

22 сентября 2021 года мэр Москвы Сергей Собянин открыл детский технопарк «Московский транспорт», созданный на базе Российского университета транспорта (МИИТ).

Основная задача детского технопарка – выявление и поддержка талантливой молодёжи, привлечение в транспортную отрасль и стимулирование интереса к инженерному творчеству у школьников и студентов колледжей в возрасте 12–18 лет.

«Сегодня мы открываем новый технопарк в Российском университете транспорта. В современных лабораториях одного из старейших и лучших технических вузов страны будут заниматься сегодняшние школьники и завтрашние инженеры интеллектуального и высокотехнологичного транспорта Москвы и России», – отметил мэр Москвы.

Технопарк, для создания которого был предоставлен грант города Москвы, реализует следующие направления подготовки: GIS-тех-

нологии, BIM-технологии, создание интеллектуальных транспортных систем, VR- и AR-технологии, основы проектирования и 3D-дизайна, аддитивные технологии в проектировании и производстве. Программы обучения неразрывно связаны с потребностями транспортной отрасли и направлениями подготовки студентов РУТ.

В технопарке созданы лаборатории промышленного дизайна, умных технологий на транспорте, водного транспорта, а также VR/AR-лаборатория.

Ожидается, что слушателями детского технопарка станут более 9400 школьников ежегодно.

**На основе информации пресс-центра
Министерства транспорта
Российской Федерации и РУТ (МИИТ)**
[https://mintrans.gov.ru/
press-center/news/10041](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10041)
*English text of the news
is at the internal back cover ●*

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

5²⁰²¹
(96)

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ –
председатель совета

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

А. А. Горбунов – доктор поли-
тических наук, профессор РУТ

Б. В. Гусев – член-корреспон-
дент Российской академии
наук

Н. А. Духно – доктор юридиче-
ских наук, профессор РУТ

Д. Г. Евсеев – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ

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

К. Л. Комаров – доктор техниче-
ских наук, профессор Сибирско-
го государственного университе-
та путей сообщения

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

Б. М. Липидус – доктор эконо-
мических наук, профессор

Д. А. Мачерет – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ,
первый заместитель председа-
теля Объединённого учёного
совета ОАО «РЖД»

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

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

Ю. И. Соколов – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ

Тран Дак Су – доктор техниче-
ских наук, профессор Универ-
ситета транспорта и коммуни-
каций (Ханой, Вьетнам)

Т. В. Шепитько – доктор тех-
нических наук, профессор РУТ

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ТЕХНИКА

Румен ДИМИТРОВ

Оценка ресурса и остаточного ресурса одного
из классов релейных централизаций. 6

Николай КАЗАНСКИЙ, Полина ЛЫСЮК

Методы анализа и синтеза коммутационных схем
фотонных коммутаторов на примере схемы Шпанке 17

Георгий КОТИЕВ, Кирилл ЕВСЕЕВ, Захид ГОДЖАЕВ

Анализ конструктивно-компоновочных
исполнений гусеничных поездов для внедорожных
контейнерных перевозок 23

ЭКОНОМИКА

Ольга ЮСУПОВА

Анализ лояльности клиентов-частных лиц
с целью повышения клиентоориентированности
компаний-грузоперевозчика 36

Павел ТРОИЦКИЙ

Модель низкогобюджетного пассажирского поезда
дальнего следования 45

Наталья ГУСЬКИНА

Влияние транспортного комплекса
на экономико-технологический потенциал территорий 50

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Андрей ТУЛУПОВ, Алексей БЕЛОШИЦКИЙ,
Егор ШИТОВ, Юлия ШИТОВА*

Инновационные и научно-технологические
приоритеты грузового железнодорожного транспорта 58

*Михаил ПОНОМАРЕВ, Надежда ФИЛИППОВА,
Александр ВЕЛИКАНОВ, Александр НЕРЕТИН*

Основные факторы, влияющие на мультимодальную
транспортную систему 69

*Людмила ТРОФИМОВА, Борис ТРОФИМОВ,
Наталья ЯНКЕВИЧ*

Планирование работы подвижного состава при перевозке
нефтепродуктов в междугородном сообщении 75

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –

главный редактор

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –

первый заместитель главного редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –

д.т.н., доцент РУТ

Л. А. БАРАНОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

Г. В. БУБНОВА –

д.э.н., профессор РУТ

Ю. А. БЫКОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Б. ЗЫЛЁВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. И. КОНДРАЩЕНКО –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

А. А. ЛОКТЕВ –

д.ф.м.н., профессор РУТ

С. Я. ЛУЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

О. Е. ПУДОВИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Н. СИДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

Н. П. ТЕРЁШИНА –

д.э.н., профессор РУТ

В. С. ФЁДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. М. ФРИДКИН –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

В. А. ШАРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. К. ШЕЛИХОВА –

руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

И. А. ГЛАЗОВ –

редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –

технический редактор

М. В. МАСЛОВА –

английский перевод

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2021

Ирина ПОЛЕШКИНА, Аркадий ЛУТИН

Развитие транспортной доступности и транспортной связанности Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма 83

Валерий МЯЧИН, Ленар АХМЕТОВ,

Владимир ШУЛЯЕВ, Михаил КОНДРАШКИН

Особенности формирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования в моногородах России на примере города Нижнекамск. 91

БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Любовь СЛАДКОВА, Филипп КУЗНЕЦОВ

Исследование характера нагружения металлоконструкций башенного крана 100

Никита ОСИНЦЕВ

Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике 105

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Пресс-архив

О. А. СТРУВЕ

Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 2 116

Пресс-архив

Вагоны-самοходы на русских железных дорогах 119

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Дмитрий ЕФАНОВ

Обзор книги «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов» 122

Авторефераты диссертаций 125

Новые книги о транспорте 132

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

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 300 экз. Цена свободная.

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

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://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.

T World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 19²⁰²¹
Iss. 5

The journal is published
by Russian University
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT.

Editorial council:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

SCIENCE AND ENGINEERING

Rumen DIMITROV

Evaluation of the Useful and Residual Life of a Class
of Relay-Based Centralised Traffic Control Systems 134

Nikolay A. KAZANSKY, Polina I. LYSYUK

Methods of Analysis and Synthesis of Switching
Circuits of Photonic Switches Using the Example
of Spanke Architecture 145

Georgy O. KOTIEV, Kirill B. EVSEEV,

Zakhid A. GODZHAEV

Analysis of Structural Design of Tracked Road Trains
for Off-Road Container Transportation. 151

ECONOMICS

Olga A. YUSUPOVA

Analysis of Loyalty of Individual Customers to Increase
the Customer Focus of the Cargo Carrier 164

Pavel S. TROITSKY

Low-Cost Long-Distance Passenger Train Model 173

Natalia V. GUSKINA

The Impact of the Transport Industry on the Economic
and Technological Capacity of the Territories 178

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Andrey V. TULUPOV, Alexey V. BELOSHITSKY,

Egor A. SHITOV, Yulia A. SHITOVA

Innovative, Scientific and Technological Priorities
of Railway Freight Transport 186

Mikhail L. PONOMAREV, Nadezhda A. FILIPPOVA,

Alexander Y. VELIKANOV, Alexander A. NERETIN

Main Factors Affecting the Multimodal Transport System. 196

Lyudmila S. TROFIKOVA, Boris S. TROFIKOV,

Natalia V. YANKEVICH

Scheduling of Vehicle Fleet of Oil Products in Intercity Traffic. ... 202

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief

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

BOARD MEMBERS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office

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

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

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

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

© Mir Transporta

© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2021. All rights reserved.

Irina O. POLESHKINA, Arkady N. LUTIN

Development of Transport Accessibility and Transport
Connectivity of the Black Sea Coast to Increase Mobility
of Population and Develop Tourism 210

*Valery N. MYACHIN, Lenar R. AKHMETOV,
Vladimir V. SHULYAEV, Mikhail G. KONDRASHKIN*

Features of Development of Route Networks of Public
Urban Passenger Transport in Russian Monotowns:
the Case of the City of Nizhnekamsk 218

SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION

Lyubov A. SLADKOVA, Philip A. KUZNETSOV

Research on the Nature of Tower Crane
Metal Structures Loading 226

Nikita A. OSINTSEV

Multi-Criteria Decision-Making Methods in Green Logistics . . . 231

HISTORY WHEEL

News from the archives

O. A. STRUVE

Report of O. A. Struve, Candidate for the Chairmanship of VIII
Department. Part 2 242

News from the archives

Self-Propelled Cars on Russian Railways. 245

BIBLIO-DIRECTIONS

Dmitry V. EFANOV

Review of the Book «Synthesis of Systems of Train Traffic
Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures» . . . 248

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. Theses Submitted
at Russian Transport Universities 251

New Books on Transport and Transportation 256

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

96 issues have been published since 2003.

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

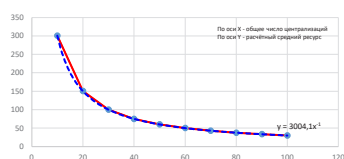
All articles in the journal are published in Russian and English, both versions being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked with ✉.

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

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

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

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.



ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ

6

Подходы к оценке ресурса и остаточного ресурса маршрутно-релейных централизаций в условиях множества классов и характеристик эксплуатируемых реле. Сравнение результатов применения детерминированного и вероятностного методов. Предложение технологически и экономически обоснованных практических оптимизационных решений.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ

17

Коммутация оптических каналов данных с использованием фотонных коммутаторов. Для решения глобальных задач нужно решить и прикладные частные. Анализ схем Шпанке заданной ёмкости для расчёта вероятности внутренних блокировок.

НАУКА И ТЕХНИКА



КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ ГУСЕНИЧНЫМИ ПОЕЗДАМИ

23

Актуальность проведения комплексного сравнения различных вариантов исполнений транспортных средств для внедорожных контейнерных перевозок. Поиск оптимальной конструкции и компоновки на основе метода анализа иерархий. Обоснованный финальный выбор двух вариантов предполагает дальнейшие исследования.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.2.08:621.318.5
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-1>

Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов релейных централизаций



Румен Димитров
ООО «ТИНСА», София, Болгария.
✉ rudimitrov@mail.bg

Румен ДИМИТРОВ

АННОТАЦИЯ

В настоящее время в Болгарии происходит модернизация основных железнодорожных направлений (коридоров) с целью повышения скорости движения поездов до 160/200 км/час, что вызывает необходимость внедрения современных европейских средств управления движением (ERTMS/ETCS, относящихся к так называемым системам класса «А»). На остальных участках продолжается эксплуатация преимущественно релейных систем обеспечения безопасности движения поездов (так называемых систем класса «Б»). К этим системам относятся прежде всего станционные централизации, большинство из которых на данный момент являются маршрутно-релейными.

На железных дорогах Болгарии применяются два класса маршрутно-релейных централизаций (МРЦ) – на реле так называемого «первого класса надёжности» и на реле так называемого «не первого класса».

Неизбежное увеличение возраста централизаций вызывает необходимость оценки их технического состояния и технической пригодности с целью определения стратегий их дальнейшей эксплуатации.

Такая оценка является затруднительной, во-первых, из-за отсутствия статистических данных по видам систем и по их составным элементам об отказах и о параметрах надёжности в процессе эксплуатации, во-вторых, из-за отсутствия рекомендаций производителей по сроку службы МРЦ.

Срок службы и остаточный срок службы, также как ресурс и остаточный ресурс централизаций можно было бы, по мнению автора, оценивать по следующим критериям:

- электрический и механический ресурс/износ элементной базы;
- надёжностные параметры релейной элементной базы;
- электрический и механический ресурсы/или состояние наружной и внутренней кабельной сети;
- эксплуатационные расходы, необходимые для содержания МРЦ в рамках предварительно заданных технических параметров.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, станционные маршрутно-релейные централизации (МРЦ), реле «первого класса надёжности», реле «не первого класса», наружная кабельная сеть, внутренняя кабельная сеть, электрическая и механическая износостойкость элементной базы, надёжностные параметры релейной элементной базы.

Для цитирования: Димитров Р. Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов релейных централизаций // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-1>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Постановка задачи

Во второй половине прошлого века в системе Болгарских железных дорог для обеспечения безопасности движения поездов на станциях внедрялись два класса релейных централизаций, распределение которых по типам следующее:

- с применением реле так называемого «первого класса надёжности» (называемые также «реле первого класса») – в советских и болгарских централизациях следующих типов:

- в советской релейной централизации малых станций с болгарской аббревиатурой СМГ;

- в советской блочной маршрутно-релейной централизации с маршрутизированными манёврами типа БМРЦ;

- в болгарской маршрутно-релейной централизации с немаршрутизированными манёврами типа Н-68;

- в болгарской маршрутно-релейной централизации с маршрутизированными манёврами типа МН70;

- в болгарских релейных централизациях малых станций типов ЕЦ1 и ЕЦМ;

- с применением реле так называемого «не первого класса надёжности» – в централизациях типов WSSB1 и WSSB2, производства бывшей ГДР.

Первая маршрутно-релейная централизация, типа WSSB1, была введена в эксплуатацию в 1959 году, а последняя, типа МН70, в 1999 году.

После 1999 года по разным причинам строительство релейных станционных централизаций было практически остановлено, в связи с чем их возраст стал постепенно увеличиваться, причём для некоторых станций вплотную приближаться и даже существенно превышать 50 лет, например:

- для некоторых централизаций типа WSSB1 срок службы к началу 2021 года составляет соответственно 61, 58 и 57 лет;

- для одной централизации типа Н-68 этот срок составляет 51 год;

- для одной централизации типа СМГ – также 51 год.

Эти обстоятельства вызывают необходимость оценки технического состояния и технической пригодности с точки зрения определения стратегии дальнейшей эксплуатации этих централизаций.

В поисках подходящей для применения методологии оценки срока службы и остаточного срока службы, также как ресурса и остаточного ресурса централизаций, автор, знакомясь с работами [1–4] (но не только^{1, 2}), пришёл к выводу, что применение формализованных математических методов анализа и оценки указанных ресурсов в данном случае является весьма проблематичным из-за отсутствия в стране статистических данных по видам систем и по их составным элементам об отказах в процессе эксплуатации, а также о таких параметрах надёжности, как время и среднее время наработки между отказами, время и среднее время восстановления работоспособного состояния после отказа, затраты на содержание систем, распределённые во времени с учётом инфляции и др.

Кроме того, отсутствуют рекомендации производителей МРЦ (иностраных и болгарских), которые не берут на себя ответственность за срок службы, на протяжении которого с большой вероятностью следует гарантировать нормальную работу этих систем. С одной стороны, это можно объяснить маркетинговыми соображениями, связанными с рыночной конкуренцией. С другой стороны, такая стратегия понятна, так как в жизненном цикле централизаций техническое содержание и профилактика, которые имеют несомненную, иногда определяющую роль, находятся вне компетенции и обязательств производителей этих систем.

Вследствие указанного, спорным на данный момент является вопрос о предельном сроке службы соответствующих типов централизаций, по которому в стране существуют два полярных мнения: одно сводится к тому, что все релейные станционные централизации в возрасте свыше 45–50 лет должны быть своевременно выведены из эксплуатации, а другое – что их эксплуатация может продолжаться до проявления признаков непригодности, без уточнения в чём они состоят.

Изложенные выше обстоятельства подтолкнули автора попытаться предложить несколько иную методологию оценки остаточного срока

¹ Руководящий документ РД 26.260.004-91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. – М., 1991.

² Руководящий документ РД 50-423-83. Методические указания. Надёжность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. – М.: Изд. стандартов, 1984.





службы, также как ресурса или остаточного ресурса релейных станционных централизаций. В его представлениях эту оценку можно производить по следующим критериям:

- электрический и механический ресурс/износ элементной базы и особенно релейной элементной базы как основной элемент этих централизаций;
- некоторые надёжностные параметры релейной элементной базы;
- электрический и механический ресурсы или состояние наружной и внутренней кабельной сети;
- другие, например, эксплуатационные расходы, необходимые для содержания объекта в рамках предварительно заданных параметров.

С точки зрения функционирования станционных централизаций важнейшей целью такой оценки должно быть определение вероятности появления опасности (происшествия), аккумулированной во время их эксплуатации, по отношению к безопасности движения поездов.

Дальнейшее изложение связано с исследованиями автора по первым двум критериям для централизаций, в которых как основные элементы применяются реле первого класса надёжности.

Термины и определения

С целью определённости и единства в понимании дальнейшего изложения было бы целесообразно привести следующие, применяемые в настоящей статье, термины и определения из [1]:

- *Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.
- *Возраст объекта* – период времени от даты начала эксплуатации до текущего момента.
- *Срок службы объекта* – календарное время, равное периоду эксплуатации, отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).
- *Ресурс объекта* – полная наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т.п., отсчитываемая от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

• *Средний срок службы (Средний ресурс)* – среднее значение случайной величины – срока службы (ресурса), отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

• *Остаточный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта от текущего момента до достижения им предельного состояния. Отличается от срока службы тем, что в качестве начала отсчёта принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался и часть начального ресурса исчерпал.

• *Остаточный ресурс объекта* – наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т.п., от текущего момента до достижения им предельного состояния. Отличается от ресурса объекта тем, что в качестве начала отсчёта принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался и часть начального ресурса исчерпал [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Оценка электрического и механического ресурса релейной элементной базы

С целью оценки электрического и механического ресурса релейной элементной базы, применяемой в советских и болгарских централизациях на реле первого класса надёжности, произведён анализ каталожных характеристик как реле первого класса (типов НМШ, ОМШ, ДСШ), так и реле, которые не относятся к этому классу (типов ИМВШ, ТШ, ПМПШ и др.), табл. 1 (колонки 2 и 3) [5; 6].

В более новых разработках болгарских релейных централизаций малых станций типа ЕЦ1 и ЕЦМ, наряду с некоторыми из указанных в табл. 1 типов реле, с середины 80-х годов прошлого века применялись и малогабаритные реле первого класса типа РЭЛ, табл. 2 [5].

Основными характеристиками указанных типов реле, которые могли бы иметь отношение к ресурсу станционных централизаций соответствующих типов, являются электромеханические характеристики, которые связаны с электрической и механической износостойкостью этих реле. Эти характеристики измеряются количеством циклов «включение/выключение», для которых производитель гарантирует нормальную работу с большой вероятностью. При

Таблица 1

№	Тип реле	Электрическая и механическая износоустойчивость: количество циклов «включение/выключение»	Электрический и механический износ, ... лет при интенсивности движения, пар поездов				Контрольная проверка в КИП при интенсивности движения, пар поездов			
			20	40	60	80	20	40	60	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	НМШ-2000	1,2•10 ⁶	14600 вкл./выкл. в год для путевых реле — 82,19 года при акт. нагрузке	29200 вкл./выкл. в год для путевых реле — 41,09 года при акт. нагрузке	43800 вкл./выкл. в год для путевых реле — 27,4 года при акт. нагрузке	1 раз в 80 лет ³	1 раз в 40 лет	Каждые 25 лет		
		Активная нагрузка на тыловой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC								
2.	ИМВШ-110	20 000 000 (2•10 ⁷)	Непрерывный режим, 60 импульсов/мин. 31 536 000 в год 0,634 года			Каждые 7–8 мес.				
3.	ТШ-2000	15 000 000 (1,5•10 ⁷)	Нагрузка 0,5 А/16 В, DC			Каждые 6 мес.				
		Нагрузка на фронтовой контакт 300 ВА, 110/230 В, AC								
4.	ДСШ-13А	100 000 (1•10 ⁵)	Нагрузка на тыловой контакт 1 А, 110 В, AC	29200 вкл./выкл. в год для путевых реле — 3,43 года	43800 вкл./выкл. в год для путевых реле — 2,28 года	Каждые 7 лет	Каждые 3,5 года	Каждые 2 года		
		Усиленный контакт 100 000 (10 ⁵) включений, 1000 (10 ³) выключений								
5.	ПМПШ-150/150	Акт. нагрузка на фр. конт. 4А, 240 В, DC	7300 вкл./выкл. в год (по 1 на 1 пару поездов) для неусиленных контактов 6,85 года	14600 вкл./выкл. в год (по 1 на 1 пару поездов) для неусиленных контактов 3,43 года	21900 вкл./выкл. в год (по 1 на 1 пару поездов) для неусиленных контактов 2,28 года	Для неусиленных контактов — каждые 7 лет	Для неусиленных контактов — каждые 3,5 года	Для неусиленных контактов — каждые 2 года		
		600 000 6•10 ⁵								
6.	ОМПШ-40	Нагрузка на фронтовой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	14600 вкл./выкл. в год (по 2 на 1 пару поездов) 41,10 года	29200 вкл./выкл. в год (по 2 на 1 пару поездов) 20,55 года	43800 вкл./выкл. в год (по 2 на 1 пару поездов) 13,7 года	1 раз в 40 лет	Каждые 20 лет	Каждые 14 лет		

³ Гипотетично.



Таблица 2

№	Тип реле	Электрическая и механическая износостойкость: количество циклов «включение/выключение»	Электрический и механический износ, ... лет при интенсивности движения, пар поездов				Контрольная проверка в КИП при интенсивности движения, пар поездов			
			20	40	60	20	40	60	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	РЕЛП-1600	1,5•10 ⁶ Активная нагрузка на фронтальный контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	14600 вкл./выкл. в год для путевых реле — 102,74 года активная нагрузка, 205,48 года, релейная нагрузка	29200 вкл./выкл. в год для путевых реле — 51,37 года активная нагрузка, 102,64 года, релейная нагрузка	43800 вкл./выкл. в год для путевых реле — 34,25 года активная нагрузка, 68,48 лет, релейная нагрузка	103 года акт. нагр.	51 год акт. нагр.	34 года акт. нагр.	68 лет рел. нагр.	103 ² года рел. нагр.

4 Гипотетично.

этом, как видно из колонки 3 таблиц, это количество различно для разного типа нагрузок (активная, при электропитании постоянного (DC) или переменного (AC) тока), а также для различных видов контактов (фронтных и тыловых, усиленных и не усиленных).

Периодичность функционирования основной части реле, главным образом реле первого класса (типов НМШ, РЭЛ, ОМШ, ДСШ), зависит от интенсивности движения поездов, измеряемой в парах поездов в сутки, тогда как для реле, работающих в импульсном режиме (ИМВШ, ТШ), такой зависимости практически нет, так как с некоторыми несущественными исключениями (например, реле типа ИМВШ) они работают в непрерывном импульсном режиме. Поэтому независимо от более высокой (в 10–15 раз) электромеханической износостойкости, гарантированной производителем, последняя исчерпывается на протяжении нескольких месяцев. Это не означает, что эти реле следует снимать с эксплуатации, но для них производитель требует (с целью обеспечения их дальнейшей нормальной работы) периодической проверки с заменой некоторых элементов, в первую очередь – контактных пластин.

Из выполненного анализа характеристик применяемых реле, которые имеют отношение к периодичности рекомендуемых проверок в контрольно-испытательных пунктах (КИП), можно сделать следующие выводы:

- периодическую проверку электромеханической износостойкости реле, работающих в импульсном режиме (типа ИМВШ, ТШ), следовало бы выполнять каждые 6–8 месяцев. Если это не производится, частота отказов этих реле во время эксплуатации нарастает, поэтому растёт и число отказов соответствующих типов централизаций;
- периодическую проверку электромеханической износостойкости реле типа ДСШ и ПМПШ, в зависимости от интенсивности движения поездов, следовало бы производить каждые 2–7 лет. Неправильным является отказ от такой проверки с целью «оптимизации» персонала КИПов. Если это становится практикой, то она ведёт к повышению вероятности появления опасного отказа реле типа ДСШ и к снижению эксплуатационной надёжности схем управления некоторыми типами стрелочных переводов (из-за реле типа ПМПШ);
- при низкой интенсивности движения поездов (около 20 пар в сутки) за всё время

до снятия реле типа НМШ и ОМШ с эксплуатации, их можно не подвергать контрольным проверкам. При средней интенсивности движения поездов (около 40 пар в сутки) эти реле следует проверять один раз в 40 лет, что в какой-то степени соизмеримо с ресурсом централизаций соответствующего класса, рассматриваемым в следующих разделах. При высокой интенсивности движения поездов (около 60 пар в сутки) реле типа НМШ следует подвергать контрольной проверке один раз каждые 25 лет, а реле типа ОМШ – один раз каждые 14–15 лет.

В условиях релейной нагрузки реле типа РЭЛ не требуют периодической проверки за весь период эксплуатации соответствующего класса и типов централизаций, чей срок при высокой интенсивности движения поездов (около 60 пар в сутки) предположительно не будет больше полного электрохимического износа реле (68–70 лет). При активной нагрузке и высокой интенсивности движения поездов можно рекомендовать проверку реле произвести через 34–35 лет после ввода МРЦ в эксплуатацию.

Из выполненного анализа становится ясно, что электрохимическая износостойкость элементной базы станционных централизаций, в которых применяются реле первого и не первого класса надёжности, не может быть ведущим критерием для оценки:

- срока службы;
- ресурса;
- среднего срока службы (среднего ресурса);
- остаточного срока службы и остаточного ресурса этого класса и принадлежащих к нему типов станционных централизаций.

2. Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов станционных централизаций

В советских и в болгарских разработках станционных централизаций безопасность движения поездов обеспечивается (наряду с принятыми принципами синтеза схем) применением безопасного элемента – реле первого класса надёжности. Основным отличием этого типа реле являются следующие характеристики:

- отсутствие (практически) вероятности сваривания фронтального с осевым контактом благодаря применению специальных конструктивно-технологических решений;

- гарантированный обрыв (под действием массы тяжёлого якоря магнитной системы реле) электрической цепи с замкнутым фронтальным контактом при выключении питающего напряжения.

В случае использования таких элементов в схемах обеспечения безопасности движения поездов (в основном в схемах так называемой исполнительной группы централизации) проектировщик рассматривает реле первого класса как безопасный элемент, поведение которого после отказа не подвергается сомнению, из-за чего это поведение, как правило, анализу не подлежит.

В действительности безопасность реле первого класса надёжности имеет свой измеритель, и он называется «интенсивность опасных отказов», размерностью 1/ч. В [6], на базе собранных статистических данных определена интенсивность опасных отказов $\lambda_{\text{оп}} = 1,4 \cdot 10^{-11}$ 1/ч. Для оценки безопасности существующих реле первого класса принимается неравенство:

$$10^{-10} \text{ 1/ч} > \lambda_{\text{оп}} > 10^{-12} \text{ 1/ч}, \quad (1)$$

причём 10^{-10} 1/ч рекомендуется для реле, находящихся в эксплуатации. Принятие этого значения (для целей настоящего исследования) оправдано и из-за того, что в централизациях, эксплуатируемых в Болгарии, используются реле первого класса как советского, так и болгарского производства (по советской конструкторской документации и болгарской технологии).

Для расчёта ресурса и остаточного ресурса МРЦ, в чьих исполнительных схемах применяются реле первого класса надёжности, предлагаются два подхода – детерминированный и вероятностный. В качестве примера рассмотрены наиболее многочисленные из находящихся в эксплуатации болгарские МРЦ с немаршрутизированными манёврами типа Н-68. Фрагмент обезличенного списка этих станций с наибольшим (51–48 лет) и наименьшим (30–25 лет) возрастом МРЦ показан в табл. 3.

Предлагаемые подходы основываются на характеристике реле первого класса «интенсивность опасных отказов», числовое значение которой в [7] определено по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{он}}(t) = \frac{r(t)}{N \cdot t}, \quad 1/\text{ч}, \quad (2)$$

где $r(t)$ – количество опасных отказов за период наблюдения;

N – количество реле;

t – период наблюдения.



Таблица 3

№	Тип МРЦ	Год введения в эксплуатацию	Возраст к началу 2021 г., лет	№	Тип МРЦ	Год введения в эксплуатацию	Возраст к началу 2021 г., лет
1.	H68	1969	51	...	...	...	...
2.	H68	1971	49	52.	H68y	1990	30
3.	H68	1972	48	53.	H68y	1990	30
4.	H68	1972	48	54.	H68в	1991	29
5.	H68	1972	48	55.	H68y	1991	29
6.	H68	1972	48	56.	H68y	1993	27
7.	МРЦ-H68	1972	48	57.	МРЦ-H68	1994	26
8.	МРЦ-H68	1972	48	58.	МРЦ-H68y	1995	25

Таблица 4

Общее число централизаций, I	Возраст, лет		Количество реле первого класса в эксплуатации*, шт.		Рекомендованная расчётная интенсивность опасных отказов $\lambda_{\text{оп}}$, 1/ч
58	Диапазон	Средний для всех МРЦ (J)	Диапазон	Среднее (N)	$1 \cdot 10^{-10}$
	25–51	40,71	300–460	380	

*Для целей исследования принимается, что во время эксплуатации соответствующей централизации смонтированные реле первого класса, хотя и подвергались периодической проверке, но они не менялись на новые и не подвергались ремонту (замене деталей). Это обстоятельство реально имеет место в эксплуатации.

2.1. Детерминированный подход

При этом подходе возраст централизаций и количество реле первого класса в эксплуатации рассматриваются как детерминированные величины.

Для МРЦ типа H-68 (включая модификации с индексами «в» и «у») на станции с 10 стрелками, 2 сбрасывающими башмаками, 8 выходными, 2 входными, 2 предупредительными и 1 повторительным сигналами точное количество реле первого класса, находящихся в эксплуатации, равно 380. По экспертной оценке, для станций этого типа с наименьшим числом указанных объектов, общее количество реле первого класса составляет около 300, а для станций с наибольшим количеством объектов – около 460. В связи с этим можно принять, что находящиеся в эксплуатации централизации характеризуются следующими детерминированными параметрами (табл. 4).

Исходя из (2), на базе обозначений из табл. 4, можно записать, что прогнозное количество опасных отказов, которое может иметь место в рассматриваемых условиях:

$$O_{\text{оп}} = \lambda_{\text{оп}} \cdot I \cdot N \cdot J \cdot 365 \cdot 24 \quad (3)$$

или:

$$O_{\text{оп}} = 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 40,71 \cdot 365 \cdot 24.$$

Из вычислений следует, что к началу 2021 года $O_{\text{оп}} = 0,78599$, т.е. наработку реле можно считать недостаточной для появления первого опасного отказа. Если $O_{\text{оп}}$ рассматри-

вать как вероятность $Q_{\text{оп}}$ появления хотя бы одного опасного отказа реле первого класса, находящихся в эксплуатации, то разницу $1 - Q_{\text{оп}} = 0,21401$ можно принимать за вероятность их безопасной работы P_6 .

Тезис автора состоит в том, чтобы P_6 рассматривать как некоторый запас до достижения первого опасного отказа всех реле первого класса, находящихся в эксплуатации, а это можно использовать как базу для вычисления среднего остаточного ресурса этих реле. С точки зрения обеспечения безопасности движения поездов, вычисленный средний остаточный ресурс реле можно принять за средний остаточный ресурс функционирования централизаций. На этой основе можно записать, что:

$$0,2140 = 11 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot T_{\text{ост}} \cdot 365 \cdot 24,$$

откуда:

$$T_{\text{ост}} = 0,21401 / 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 365 \cdot 24 = 11,0845 \text{ лет.}$$

Следовательно, можно принять, что средний остаточный ресурс находящихся в эксплуатации реле первого класса до достижения хотя бы одного опасного отказа равен периоду порядка 11 лет⁵. Отсюда средний остаточный ресурс находящихся в эксплуатации централизаций типа H-68, который имеет прямое отношение к безопасности движения

⁵ Согласно более ранним расчётам автора (2017 года), когда в числе действующих была 61 централизация этого типа, средний остаточный ресурс реле был равен 11,6 года.

Таблица 5

№	Шаги стратегии	$Q_{оп}$	P_6
1	2	3	4
1.	МРЦ ст. № 1 в эксплуатации 60 лет	0,9598	0,0402
2.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 1	0,9397	0,0603
3.	МРЦ ст. № 2 в эксплуатации 60 лет	0,9777	0,0223
4.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 2	0,9577	0,0423
5.	МРЦ на станциях №№ 3–9 в эксплуатации 60 лет	0,9764	0,0236
6.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ на станциях №№ 3–9	0,8366	0,1634

Таблица 6

№	Шаги стратегии	$Q_{оп}$	P_6
1	2	3	4
1.	МРЦ ст. № 1 в эксплуатации 55 лет	0,8632	0,1368
2.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 1	0,8483	0,1517
3.	МРЦ ст. № 2 в эксплуатации 55 лет	0,8828	0,1172
4.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 2	0,8646	0,1454
5.	МРЦ на станциях №№ 3–9 в эксплуатации 55 лет	0,8832	0,1168
6.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ на станциях №№ 3–9	0,7550	0,2450

поездов, можно к началу 2021 года оценивать в 11 лет.

Допустим, что в последующие 11 лет по отношению к этим МРЦ применяется стратегия «ничего не делается». Это будет означать, что через 11 лет возраст объекта № 1 (табл. 3) достигнет 62 лет. Тогда вероятность $Q_{оп}$ опасного отказа реле первого класса для всех действующих централизаций этого типа будет практически равна 1 (0,9984). Поэтому, чтобы избежать ситуации, которая может вызвать происшествие с тяжкими последствиями, предлагается стратегия «управление ресурсом/возрастом МРЦ».

Для целей последующего анализа рассмотрим два варианта предельного возраста МРЦ этого типа: а) 60 лет (табл. 5) и б) 55 лет (табл. 6). Здесь указанные варианты будут иметь смысл «назначенного», т.е. гипотетического ресурса. Это означает, что через 9 лет и соответственно через 4 года «самая старая» МРЦ на станции № 1 (табл. 3) должна быть выведена из эксплуатации.

В колонке № 3 таблиц 5 и 6 указаны $Q_{оп}$ и P_6 для всех МРЦ типа Н-68 на следующих шагах стратегии:

1. МРЦ ст. № 1 находится в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 1 таблиц);
2. МРЦ ст. № 2 находится в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 3 таблиц);
3. МРЦ на станциях №№ 3–9⁶ находятся в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 5 таблиц);

⁶ В табл. 3 ст. № 9 не указана.

4. На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ соответствующих станций значения $Q_{оп}$ и P_6 указаны в рядах 2, 4, 6 таблиц.

Видно, что в случае, если принять «назначенный» средний ресурс МРЦ равным 60 лет (табл. 5), то до снятия с эксплуатации МРЦ на станциях 1–9, вероятность опасного отказа остаётся близкой к 1. В случае если в качестве этого ресурса принять 55 лет, то до снятия с эксплуатации МРЦ на станциях 1–9 существует запас вероятности P_6 в рамках 0,12–0,14 (округлённо).

Отсюда можно заключить, что, если принять в качестве среднего ресурса МРЦ типа Н-68 средний срок эксплуатации равным 60 лет, то это будет несколько рискованным, а срок 55 лет – довольно пессимистическим решением. Разумным, видимо, следует считать среднее значение, т.е. 57–58 лет. Это позволит для каждой конкретной МРЦ учесть и следующие дополнительные факторы:

- состояние наружной кабельной сети и внутренних кабелей и проводников. В данном случае оценке необходимо подвергнуть наступившие к текущему моменту изменения в характеристиках кабелей. Тут следует иметь в виду, что централизации с большим сроком эксплуатации более уязвимы с точки зрения качества применяемых в прошлом кабелей и проводников. Этим аспектом, с точки зрения возникновения опасного отказа, независимо от вероятности такого отказа реле первого класса, совсем не стоит



Таблица 7

Число МРЦ, I	Расчётный средний ресурс J, лет
10	300,408
20	150,205
30	100,136
40	75,102
50	60,082
60	50,068
70	42,915
80	37,551
90	33,378
100	30,041

пренебрегать, поэтому он требует отдельного рассмотрения;

- качество технического обслуживания, которое сказывается на общем техническом состоянии конкретной централизации. Практика и наблюдения показывают, что централизации одного и того же возраста могут выглядеть как совершенно амортизированными, так и находиться в приемлемом техническом состоянии;

- эксплуатационные расходы, связанные с содержанием централизаций в рамках предварительно заданных параметров, тоже могут быть предметом оценки с точки зрения их целесообразности.

Поступая таким образом, следует ожидать, что вероятность опасного отказа реле первого класса в централизациях указанного типа не достигнет $Q_{оп} = 1$.

Для того чтобы выполнить стратегию «управление ресурсом/возрастом МРЦ»,

следует изготовить программу переоснащения станций с централизациями типа Н-68 с ясным представлением о том, что это является необходимым условием управления безопасностью движения поездов.

Дополнительный комментарий № 1

Из изложенного выше может сложиться впечатление, что если в (3) подставить $O_{оп} = 1$, а $\lambda_{оп}$, I и N известны, как в рассматриваемом случае, то средний для всех МРЦ ресурс на базе появления первого опасного отказа можно определять как:

$$J = 1/\lambda_{оп} \cdot I \cdot N \cdot 365 \cdot 24, \text{ лет.} \quad (4)$$

Оказывается, что это не совсем так.

Таблица 7 и рис. 1 дают зависимость среднего ресурса МРЦ типа Н-68 от числа централизаций, находящихся в эксплуатации. Видно, что, если число $I \leq 60$, то расчётный средний ресурс резко возрастает. Это резонно, потому что в таких случаях общее количество реле недостаточно для того, чтобы с вероятностью, равной единице, мог появиться первый опасный отказ. Тогда определяющей для ресурса МРЦ будет являться не вероятность появления первого опасного отказа, а электрическая и механическая износостойкость/износ реле (см. раздел 1, табл. 1 и 2), а также состояние кабельной сети и эксплуатационные расходы, необходимые для содержания каждой отдельной МРЦ в рамках предварительно заданных параметров.

Если число централизаций $I > 60$, средний ресурс МРЦ уменьшается. Однако, здесь следует иметь в виду, что при таком числе централизаций, ввиду их неодновременного

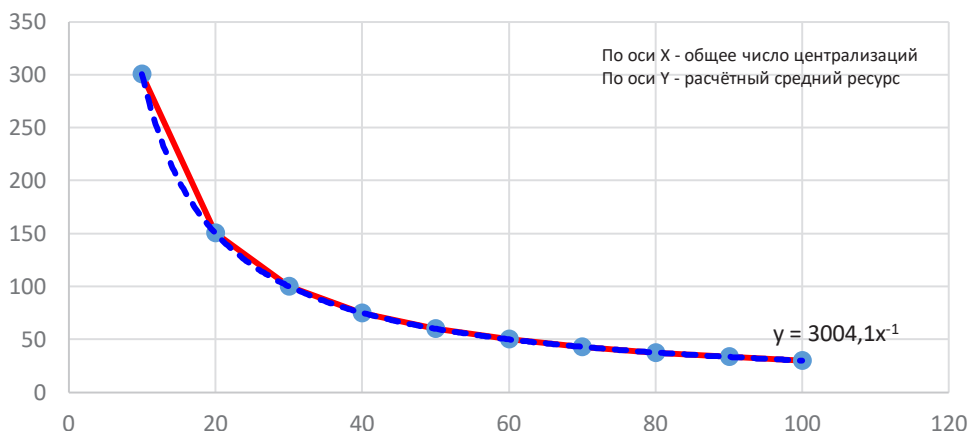


Рис. 1. Средний ресурс МРЦ типа Н-68 до появления первого опасного отказа.
Примечание: красная кривая — средний расчётный ресурс в зависимости от общего числа МРЦ; синяя пунктирная кривая — линия тренда $y = 3004,1x^{-1}$.

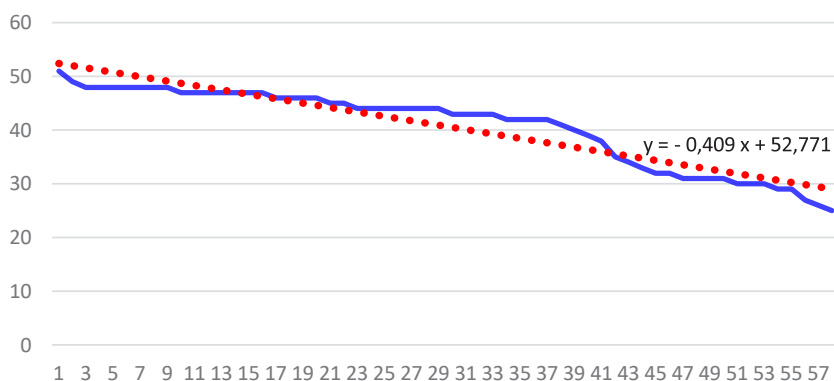


Рис. 2. Возраст централизаций типа Н-68.
Примечание: по оси X — номер централизации, по оси Y — возраст.

строительства, будут иметь место как МРЦ возрастом гораздо менее, так и возрастом больше расчётного среднего ресурса⁷. В этих случаях критерий «определение среднего остаточного ресурса на базе 100 % вероятности появления первого опасного отказа» будет становиться преобладающим.

2.2. Вероятностный подход

Для реализации этого подхода выполнено моделирование по методу Монте-Карло, при котором:

- номер соответствующей централизации рассматривается и моделируется как случайное число в диапазоне 1–58 с равномерным законом распределения;
- возраст рассматривается как случайное число, которое определяется на базе случайного номера централизаций по линеаризованной функции $y = f(x)$ реального возраста централизаций (рис. 2), которая является линией тренда $y = -0,409x + 52,771$;
- количество реле рассматривается и моделируется как случайное число в диапазоне 300–460 шт. с равномерным законом распределения.

Моделирование выполнено для 20 серий с 5800 сценариями в каждой со следующими конечными результатами: $Q_{оп} = 0,78986$, $P_6 = 0,21014$, средний возраст — 40,897 года.

Видно, что полученные с применением вероятностного моделирования значения $Q_{оп}$, P_6 и средний возраст практически не отличаются от проведённых расчётов с детерминированными значениями из п. 2.1, что являет-

ся свидетельством высокой сходимости результатов обоих подходов (детерминированного и вероятностного).

Дополнительный комментарий № 2

Предложенную концепцию управления безопасностью релейных станционных централизаций, в которых используются реле первого класса, можно применить и к другим типам централизаций этого класса. В связи с этим для централизаций типа МН70 с маршрутизированными манёврами, которые были введены в эксплуатацию в основном после 1975 года и число которых значительно меньше других типов, этот средний ресурс (не более 60 лет) также можно принять как разумный, потому что количество реле первого класса в них не менее, чем в 2 раза больше, чем их имеется в МРЦ типа Н-68, кроме того, этим типом централизаций вооружены станции, на которых управляемых объектов (стрелок и сигналов) больше, а движение поездов и маневровая работа являются более интенсивными. Это позволяет обсуждать следующие действия, связанные с эксплуатацией релейных централизаций указанных типов:

1. Замена рельсовых цепей счётчиками осей в централизациях типа Н-68, чей возраст на данный момент свыше 47–48 лет. Это можно считать целесообразным только в случае наличия проблемы с поставкой резервных элементов/блоков, необходимых для обеспечения требуемой эксплуатационной готовности аппаратуры рельсовых цепей.

2. Демонтаж централизаций типа МН70 на модернизируемых участках железнодорожной сети, чей возраст к моменту вывода из эксплуатации находится в пределах 32–35 лет.

⁷ Для сравнения см. табл. 3, для которой средний возраст централизаций 40,71 лет, хотя возраст самой «старой» — 51 год, а самой «молодой» — 26 лет.



С точки зрения изложенного выше, эти централизации можно «перенаправить» на станции, до того момента оборудованные МРЦ типа Н-68, чей ресурс/разумный возраст истёк несмотря на то, что МРЦ типа МН70 обладали бы в известной степени аппаратной избыточностью по отношению к действительно необходимым эксплуатационным характеристикам. С целью некоторой модернизации вместо пульт-табло в этих МРЦ можно применить так называемую «компьютерную визуализацию».

ВЫВОДЫ

1. Настоящее исследование является попыткой в какой-то степени эмпирически оценить ресурс и остаточный ресурс одного из классов станционных централизаций, в которых применяются реле так называемого «первого класса надёжности».

2. Анализ показывает, что остаточный ресурс и достижение предельного состояния этого класса и типов централизаций не могут быть определены только на основе электрической и механической износостойкости/износа реле первого и не первого классов надёжности, применяемых в них.

3. С точки зрения реализации вероятности первого опасного отказа реле первого класса надёжности решающее значение имеют количество находящихся в эксплуатации реле и их возраст.

4. В качестве среднего ресурса МРЦ типа Н-68 можно принять их эксплуатацию в течение 57–58, но не более 60 лет, а их средний остаточный ресурс к началу 2021 года – равным не более 9 лет. Однако, эти значения не следовало бы считать абсолютными, т.е. их следует воспринимать как прогнозные значения ожидаемого времени, по истечении которого соответствующая централизация достигнет предельного состояния и будет снята с эксплуатации. Это обусловлено и необходимостью учёта указанных выше дополнительных факторов. В связи с этим расчётный

средний ресурс и средний остаточный ресурс МРЦ этого типа представляют собой лучший ориентир их ожидаемого предельного возраста.

5. Можно считать, что закрытие отдельных малодетальных станций (по соображениям оптимизации технологии перевозочного процесса) или снятие с эксплуатации станций с централизациями, в которых применяются реле первого класса надёжности, особенно с большим сроком службы, ведёт к стабилизации вероятности возникновения первого опасного отказа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лейфер Л. А., Кашникова П. М. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей. – ЗАО «Приволжский центр финансового консалтинга и оценки». – 2007. [Электронный ресурс]: http://www.labrate.ru/leifer/leifer_kashnikova_article_2007-1_residual_service_life.htm. Доступ 24.04.2021.
2. Садыхов Г. С., Савченко В. П., Сидняев Н. И. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники: Монография. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 384 с. ISBN 978-5-7038-4006-1. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29814108>. Доступ 29.04.2021.
3. Андреев Д. А., Назарычев И. А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 2. – С. 69–84. [Электронный ресурс]: http://ispu.ru/files/str_69-84.pdf. Доступ 24.04.2021.
4. Болотский Д. Н. Методы оценки надёжности и рисков производственного процесса эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта / Дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – 181 с. [Электронный ресурс]: https://www.mii.ru/content/%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_10092020_%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%94.%D0%9D.pdf?id_wm=856542. Доступ 24.04.2021.
5. Сороко В. И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: НПФ «Планета», 2002. – 696 с. ISBN 5-901307-04-6.
6. Шмырев А. С. Справочник по железнодорожной автоматике и телемеханике / 2 изд., перераб. и доп. – М.: «Транспорт», 1970. – 384 с.
7. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / Под ред. д.т.н. Вл. В. Сапожникова. – М.: «Транспорт», 1997. – 288 с. [Электронный ресурс]: <https://pt.b-ok.com/book/2960213/9ec31b>. Доступ 29.04.2021.

Информация об авторе:

Димитров Румен – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, эксперт ООО «ТИНСА», София, Болгария, rudimitrov@mail.bg.

Статья поступила в редакцию 12.03.2021, одобрена после рецензирования 15.06.2021, актуализирована 28.09.2021, принята к публикации 30.09.2021.



Методы анализа и синтеза коммутационных схем фотонных коммутаторов на примере схемы Шпанке



Николай КАЗАНСКИЙ



Полина ЛЫСЮК

**Николай Александрович Казанский¹,
Полина Игоревна Лысюк²**

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² Колледж связи № 54 имени П. М. Вострухина, Москва, Россия.

✉ nkazan@inbox.ru.

АННОТАЦИЯ

Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта требует внедрения новых телекоммуникационных технологий, реализованных в интегрированной цифровой системе технологической связи (ИЦТС). Одной из особенностей построения таких систем является обеспечение коммутации оптических каналов данных с использованием фотонных коммутаторов (ФК). Процессы коммутации в ФК происходят на фотонном (оптическом) уровне. Особенностью построения ФК является использование многозвенных топологий, выполненных на бинарных коммутаторах (БК). БК представляет собой простейший коммутационный элемент с количеством входных/выходных портов, равным одному или двум. Концепции построения ФК основаны на технологиях известных коммутационных схем на БК, которые, как правило, носят фамилии их создателей (схемы Бенеша, Шпанке, Шпанке–Бенеша, сеть Клоза и др.).

С увеличением ёмкости ФК усложняется его структура: увеличиваются число звеньев в схеме коммутации, общее число БК, длина маршрутов коммутации, коэффициент избыточности. Кроме того, возникает необходимость расчё-

та вероятностей возникновения внутренних блокировок в коммутационных схемах, скорости коммутации оптических сигналов, величины затухания оптического сигнала в схеме ФК и т.д.

Целью исследования является разработка методов анализа и синтеза коммутационных схем фотонных коммутаторов на примере схем Шпанке заданной ёмкости с учётом вероятностей возникновения внутренних блокировок. В статье авторами использованы общенаучные и инженерные методы математического моделирования, теории вероятностей и массового обслуживания. В качестве примера авторами рассмотрен алгоритм анализа структур схем Шпанке с ёмкостью от 4×4 до 128×128 . Определены их топологические и вероятностные характеристики (число звеньев в схеме коммутации, общее число БК, длины маршрутов коммутации, вероятности возникновения внутренних блокировок в схемах ФК). Результаты расчётов представлены в форме таблиц. Разработанные методы анализа и синтеза могут применяться при исследовании подобных коммутационных схем, построенных на БК.

Ключевые слова: фотонная коммутация, бинарный коммутатор, структура Шпанке, структурные характеристики, вероятности возникновения внутренних блокировок, высокоскоростной транспорт.

Для цитирования: Казанский Н. А., Лысюк П. И. Методы анализа и синтеза коммутационных схем фотонных коммутаторов на примере схемы Шпанке // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 17–22. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-2>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта требует внедрения новых телекоммуникационных технологий, реализованных в интегрированной цифровой системе технологической связи (ИЦТС). Одной из особенностей построения таких систем является обеспечение коммутации оптических каналов передачи данных с использованием фотонных коммутаторов (ФК). Различным аспектам данного вопроса на протяжении целого ряда лет посвящаются многочисленные исследования [1–8].

ФК являются одними из основных элементов таких систем и позволяют конфигурировать их топологию. Процессы коммутации сигналов в ФК происходят на фотонном (оптическом) уровне. Особенностью построения ФК с числом входов/выходов от 4×4 и более является использование многосвязных топологий, выполненных на бинарных коммутаторах (БК). БК представляет собой простейший коммутационный элемент с количеством входов/выходов 2×2 , 2×1 или 1×2 .

В [9; 10] предложено строить схемы ФК по структурам классических схем, названным, как правило, по фамилиям их создателей:

- схема Шпанке;
- «матричная» схема;
- схема «Дельта»;
- схема «Баньян»;
- схема «Бетчер–Баньян»;
- схема Бенеша;
- схема Шпанке–Бенеша;
- схема Клоза (Клоса).

С увеличением ёмкости ФК усложняется его структура: увеличиваются число звеньев в схеме коммутации, общее число БК, длина маршрутов коммутации, коэффициент избыточности [11]. Кроме того, возникает необходимость расчёта вероятностей возникновения внутренних блокировок в коммутационных схемах, скорости коммутации оптических сигналов, величин затухания оптического сигнала в схеме ФК и т.д. В работах [9–12] приведены принци-

пы работы ФК, их технические характеристики и особенности построения структурных схем. Однако авторами не рассмотрены вопросы анализа и синтеза структурных схем ФК, не приведены методы расчёта их структурных и вероятностных характеристик.

Цель исследования. Разработка методов анализа и синтеза коммутационных схем ФК на примере схем Шпанке ёмкостью $M = 2^N$ и методов расчёта их структурных и вероятностных характеристик.

Методы исследования. Общенаучные и инженерные методы математического моделирования, теории вероятностей и массового обслуживания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагается рассматривать структуры многосвязных ФК с числом входов/выходов $M \times M$, формирующихся по модульному принципу, то есть исходя из того, что коммутационная схема ёмкостью $M \times M$ формируется на основе коммутационных схем с числом входов/выходов, равным $M/2 \times M/2$.

В соответствии с предлагаемым модульным принципом построения коммутационных схем Шпанке необходимо рассмотреть особенности структур схем минимальной ёмкости 2×2 с последующим увеличением этой ёмкости по закону $M = 2^N$. На рис. 1 приведена схема Шпанке минимальной ёмкости 2×2 [13].

Любую схему коммутации Шпанке ёмкости $M = 2^N$, где $N = 2, 3, 4, \dots$, можно представить в виде трёхзвенной схемы. При этом БК первого и третьего звена представляют собой входные и выходные БК типа 1×2 и 2×1 , а БК второго звена представляют собой блоки ёмкостью $M/4$.

Для анализа и синтеза структурных схем ФК ёмкостью M введём ряд определений.

Звено БК – совокупность БК, которые относятся к одной ступени коммутации. Звенья в схеме Шпанке подразделяются на оконечные и промежуточные. В коммутационной схеме Шпанке ёмкостью 2×2 нет промежуточных звеньев (рис. 1). Оконечные звенья строятся на БК типа 1×2 и 2×1 , промежуточное звено состоит из четырёх блоков ёмкостью $M/2$.

Блок БК – коммутационная схема ёмкостью $M/2$, на основе которой строятся коммутационные схемы ёмкостью M . При этом, в схемах Шпанке число блоков равно четырём

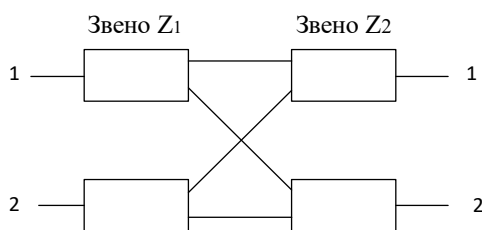


Рис. 1. Схема Шпанке 2×2 [13].

вне зависимости от ёмкости схемы. Блоки размещаются между первым и последним звеньями коммутатора.

Первое и третье звенья коммутационной схемы подразделяются на группы БК. Каждая группа состоит из $M/2$ базовых коммутаторов. Группам БК присвоена двойная нумерация. Первая цифра указывает на принадлежность к номеру звена (1 или 3), вторая цифра – порядковый номер группы в звене (1 или 2). Общее число групп в схемах Шпанке всегда равно четырём.

Введём следующие обозначения структурных характеристик схемы коммутатора Шпанке:

M – число входов/выходов в схеме коммутатора ($M = 2^N$);

Z_k – номер звена в схеме коммутатора, $k = 1, 2, 3$;

B_k – количество БК в звене Z_k схемы коммутатора – для $k = 1, 3$, $B_k = M$; для $k = 2$, $B_k = 2 \cdot M \cdot (M-2)$;

B – общее количество БК в схеме коммутатора;

G_{ij} – номер группы в схеме коммутатора, где $i = 1, 3$; $j = 1, 2$;

D_m – номер блока в звене Z_2 схемы коммутатора, $m = 1, 2, 3, 4$.

В качестве примера проведём анализ структурных характеристик схемы Шпанке ёмкостью 4×4 , представленной на рис. 2.

Звено $Z1$ реализуется на БК типа 1×2 , звено $Z2$ реализуется на БК типа 2×1 . Число БК в звеньях соответствует количеству входов (выходов) коммутатора. Звено $Z2$ содержит четыре блока ёмкостью 2×2 . Линиями разных типов (сплошными и пунктирными) изображены схемы подключения четырёх блоков ёмкостью 2×2 к БК звеньев $Z1$ и $Z3$. Звено $Z1$ состоит из групп $G11$ и $G12$, звено $Z3$ состоит из групп $G31$ и $G32$.

Авторами статьи предложен следующий обобщённый алгоритм анализа и синтеза коммутационных схем Шпанке ёмкостью $M = 2^N$:

1. Первоначально определяются:

- общее количество БК в схеме по формуле: $B = 2 \cdot M \cdot (M-1)$ [10];

- количество БК в первом звене B_1 и последнем звене B_3 в схеме коммутатора: $B_1 = B_3 = M$;

- общее количество БК в промежуточном звене $Z2$, вычисляется по формуле: $B_2 = 2 \cdot M \cdot (M-2)$.

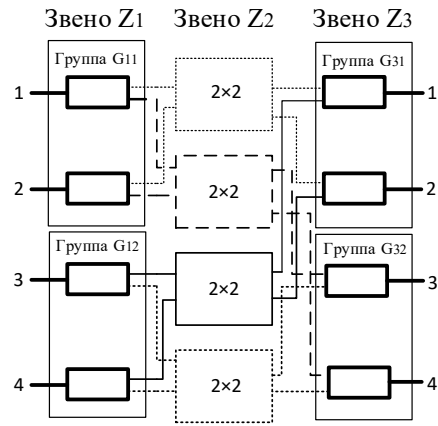


Рис. 2. Схема Шпанке 4×4 (выполнено авторами).

2. Производится нумерация блоков D_m звена $Z2$ от 1 до 4.

3. Производится нумерация групп БК G_{ij} в первом ($G11$ и $G12$) и третьем ($G31$ и $G32$) звеньях.

4. Схема соединения выходов БК звена $Z1$ со входами блоков звена $Z2$ следующая. Выходы первого БК в группе $G11$ подключаются к первым входам блоков $D1$ и $D2$. Выходы второго БК группы $G11$ подключаются ко вторым входам блоков $D1$ и $D2$. Выходы первого БК группы $G12$ подключаются к первым входам блоков $D3$ и $D4$. Выходы второго БК группы $G12$ подключаются ко вторым входам блоков $D3$ и $D4$.

5. Схема соединения БК звена $Z3$ с выходами блоков звена $Z2$ следующая. Входы первого БК группы $G31$ подключаются к первым выходам блоков $D1$ и $D3$. Входы второго БК группы $G31$ подключаются ко вторым выходам блоков $D1$ и $D3$. Входы первого БК группы $G32$ подключаются к первым выходам блоков $D2$ и $D4$. Входы второго БК группы $G32$ подключаются ко вторым выходам блоков $D2$ и $D4$.

Используя разработанный выше алгоритм анализа и синтеза коммутационных схем Шпанке, составлена приведённая на рис. 3 схема коммутатора ёмкостью 8×8 .

Авторами предложена следующая методика расчёта вероятностей возникновения внутренних блокировок для коммутационных схем Шпанке.

Рассмотрим пример передачи трафика через схему коммутации Шпанке ёмкостью 2×2 (рис. 1) с первого входа к первому выходу.



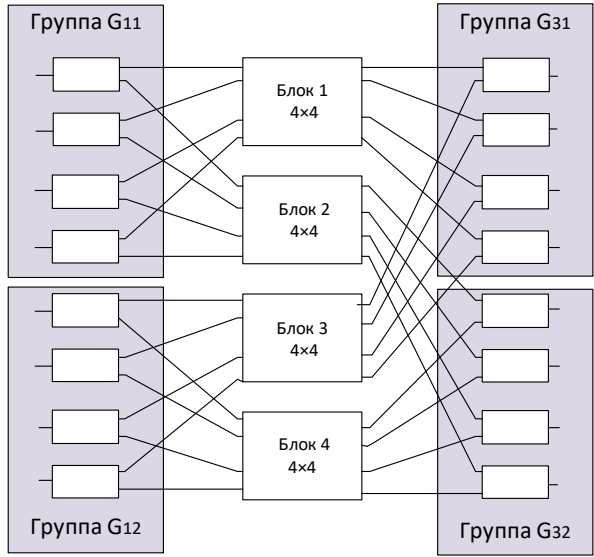


Рис. 3. Пример синтезированной схемы Шпанке 8×8 (выполнено авторами).

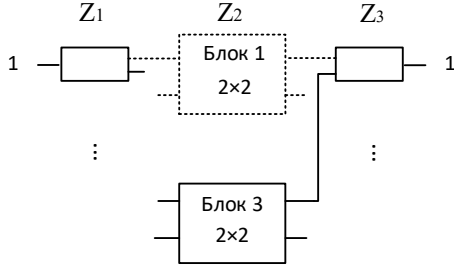


Рис. 4. Фрагмент структуры Шпанке 4×4 (выполнено авторами).

Введём следующие дополнительные обозначения:

- $q_{\text{шм}}$ – вероятности возникновения внутренних блокировок в схеме Шпанке ёмкостью M ;
- ρ – средняя интенсивность поступающей удельной нагрузки на каждый из входов ФК, Эрл;
- α – коэффициент тяготения поступающей нагрузки в схеме ФК.

Рассмотрим процедуру обслуживания нагрузки в схеме данного коммутатора. Внутренние блокировки возникнут в случае, когда на входы, например, первого БК звена $Z2$ поступит наблюдаемая обслуживаемая нагрузка и конкурирующая нагрузка со второго входа ФК. В этом случае вероятности возникновения блокировки соединения между первым входом и первым выходом определяются по формуле:

$$q_{\text{ш2}} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) = \alpha \cdot \rho. \quad (1)$$

Аналогичным образом определим вероятности возникновения внутренних блокировок для схемы Шпанке 4×4 $q_{\text{ш4}}$, представив каждый блок в звене $Z2$ схемой Шпанке 2×2 (рис. 2).

Преобразуем схему рис. 2 в упрощённую, приведённую на рис. 4. В общей схеме выделим пути установления соединения первого входа с первым выходом.

На выходе 1 звена $Z3$ вероятности возникновения блокировок передаваемого трафика будут зависеть от величины нагрузки, поступающей с выхода третьего блока 2×2.

На основании вышесказанного выразим вероятности появления внутренних блокировок в схеме Шпанке 4×4 $q_{\text{ш4}}$ через вероятности возникновения внутренних блокировок $q_{\text{ш2}}$:

$$q_{\text{ш4}} = 1 - (1 - q_{\text{ш2}}) \cdot (\alpha \cdot \rho)^3 \cdot (1 - \alpha)^2. \quad (2)$$

В классических схемах Шпанке [14–16] обслуживаемая нагрузка концентрируется в БК 2×1 звена $Z3$. Это приводит к появлению

Таблица 1

Вероятности возникновения внутренних блокировок в модернизированных схемах Шпанке различной ёмкости при интенсивности поступающей нагрузки $\rho = 0,001$ Эрл

α	$q_{Ш2}$	$q_{Ш4}$	$q_{Ш8}$	$q_{Ш16}$	$q_{Ш32}$	$q_{Ш64}$	$q_{Ш128}$
0,1	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,199 \cdot 10^{-3}$	$0,299 \cdot 10^{-3}$	$0,399 \cdot 10^{-3}$	$0,499 \cdot 10^{-3}$	$0,599 \cdot 10^{-3}$	$0,699 \cdot 10^{-3}$
0,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,999 \cdot 10^{-3}$	$1,499 \cdot 10^{-3}$	$1,998 \cdot 10^{-3}$	$2,497 \cdot 10^{-3}$	$2,996 \cdot 10^{-3}$	$3,494 \cdot 10^{-3}$
0,9	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,799 \cdot 10^{-3}$	$2,697 \cdot 10^{-3}$	$3,595 \cdot 10^{-3}$	$4,491 \cdot 10^{-3}$	$5,387 \cdot 10^{-3}$	$6,283 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2

Вероятности возникновения внутренних блокировок в модернизированных схемах Шпанке различной ёмкости при интенсивности поступающей нагрузки $\rho = 0,01$ Эрл

α	$q_{Ш2}$	$q_{Ш4}$	$q_{Ш8}$	$q_{Ш16}$	$q_{Ш32}$	$q_{Ш64}$	$q_{Ш128}$
0,1	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,999 \cdot 10^{-3}$	$2,997 \cdot 10^{-3}$	$3,994 \cdot 10^{-3}$	$4,990 \cdot 10^{-3}$	$5,985 \cdot 10^{-3}$	$6,979 \cdot 10^{-3}$
0,5	$5 \cdot 10^{-3}$	$9,975 \cdot 10^{-3}$	$14,925 \cdot 10^{-3}$	$19,850 \cdot 10^{-3}$	$24,751 \cdot 10^{-3}$	$29,627 \cdot 10^{-3}$	$34,479 \cdot 10^{-3}$
0,9	$9 \cdot 10^{-3}$	$17,919 \cdot 10^{-3}$	$26,757 \cdot 10^{-3}$	$35,516 \cdot 10^{-3}$	$44,197 \cdot 10^{-3}$	$52,799 \cdot 10^{-3}$	$61,324 \cdot 10^{-3}$

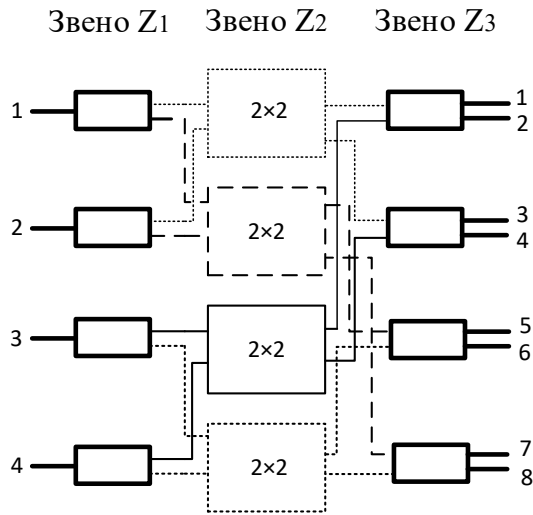


Рис. 5. Модернизированная схема Шпанке 4×4 (выполнено авторами).

значительных вероятностей блокировок трафика.

В качестве примера при $\rho = 0,001$ Эрл, $\alpha = 0,5$ вероятности возникновения блокировок в схеме Шпанке 4×4 составят $q_{Ш4} = 0,999$.

Авторами предлагается модернизировать классическую схему Шпанке путём замены в звене Z3 БК 2×1 на БК 2×2. Данная схема представлена на рис. 5.

В этом случае вероятности возникновения внутренних блокировок в модернизированной схеме Шпанке 4×4:

$$q_{Ш4} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) \cdot (1 - q_{Ш2}). \quad (3)$$

Для произвольного значения ёмкости M формула вероятностей возникновения внутренних блокировок примет вид:

$$q_{ШM} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) \cdot (1 - q_{Ш\frac{M}{2}}). \quad (4)$$

Результаты расчётов вероятностей возникновения внутренних блокировок в схемах Шпанке с БК 2×2 в звене Z3 представлены в табл. 1 и табл. 2.

ВЫВОДЫ

Предложенная авторами замена в схемах Шпанке выходных БК 2×1 на БК 2×2 позволяет уменьшить вероятности возникновения внутренних блокировок в среднем на три порядка, что даст возможность обеспечить высокую пропускную способность и применять их в оптических сетях ИЦТС с фотонной коммутацией.

Разработанный метод позволяет анализировать и синтезировать схемы ФК на примере схемы Шпанке любой ёмкости и определять вероятности возникновения





внутренних блокировок. Предложен блочный принцип синтеза схем, основанный на результатах анализа и синтеза схем Шпанке меньшей ёмкости.

Величины удельных нагрузок ρ и коэффициенты тяготения нагрузок α влияют на значения вероятностей возникновения внутренних блокировок, прежде всего с увеличением ёмкости ФК.

Вероятности возникновения блокировок в ФК малой ёмкости $M/2$ увеличиваются примерно в три раза в схемах ёмкостью M .

С увеличением коэффициента тяготения нагрузки вероятности блокировок могут увеличиваться до девяти раз, независимо от ёмкости ФК.

В ходе дальнейших исследований предполагается рассмотрение результатов математического моделирования для остальных классических схем ФК.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Agrawal, G. P. Nonlinear Fiber Optics. 3rd ed. Eds.: Kelley, P. L., Kaminow, I. P., Agrawal, G. P. Boston, Academic Press, 2000, 468 p. [Электронный ресурс]: http://read.pudn.com/downloads143/ebook/620953/Nonlinear_Fiber_Optics_3E.pdf. Доступ 09.01.2021. DOI: 10.1007/3-540-46629-0_9.
2. Liu, Ai-qun; Zhang, Xuming; Lu, Cheng; Wang, F.; Liu, Zishun. Optical and mechanical models for a variable optical attenuator using a micromirror drawbridge. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2003, Vol. 13 (3), pp. 400–411. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/228697763_Optical_and_mechanical_models_for_a_variable_optical_attenuator_using_a_micromirror_drawbridge. Доступ 09.01.2021.
3. Säckinger, E. Broadband Circuits for Optical Fiber Communication. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 453 p. [Электронный ресурс]: <https://b-ok.global/book/490967/864d86>. Доступ 09.01.2021.
4. Grade, J. D., Jerman, H., Kenny, T. W. Design of Large Deflection Electrostatic Actuators. Journal of Microelectromechanical Systems, 2003, Vol. 12, Iss. 3, pp. 335–343. DOI: 10.1109/JMEMS.2003.811750.
5. Bryzek, J., Abbott, E., Flannery, A., Cagle, D., Maitan, J. Control Issues for MEMS. 42nd IEEE International Conference on Decision and Control (IEEE Cat. No. 03CH37475), Maui, Hawaii, Dec, 2003. DOI: 10.1109/CDC.2003.1273090.
6. Hiroyuki, Fujita; Hiroshi, Toshiyoshi. Electrostatic Micro Torsion Mirrors for an Optical Switch Matrix. Journal

of Microelectromechanical Systems, 1996, Vol. 5, No. 4, pp. 231–237. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Hiroyuki_Fujita/publication/3329122_Electrostatic_micro_torsion_mirrors_for_an_optical_switch_matrix/links/0deec52b39513cd648000000/Electrostatic-micro-torsion-mirrors-for-an-optical-switch-matrix.pdf. Доступ 09.01.2021.

7. Kurzweg, T. P., Morris III, A. S. Macro-Modeling of Systems Including Free-Space Optical MEMS. 2000 International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems – MSM 2000, Tech. Proc. San Diego, California, USA, March 27–29, pp. 146–149. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/2635436_Macro-Modeling_of_Systems_Including_Free-Space_Optical_MEMS. Доступ 09.01.2021.

8. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика / Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 323 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/agraval-gp-nelineynaya-volokonnoyaya-optika_56ae28bf45d.html. Доступ 09.01.2021.

9. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 267 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/26025483-R-r-ubaydullaev-volokonno-opticheskie-seti.html>. Доступ 09.01.2021.

10. Фокин В. Г. Когерентные оптические сети: Учебное пособие / Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; кафедра многоканальной электросвязи и оптических систем. – Новосибирск, 2015. – 372 с. [Электронный ресурс]: <https://docplayer.ru/61495673-Kogerentnye-opticheskie-seti.html>. Доступ 09.01.2021.

11. Дмитриев С. А., Слепов Н. Н. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы. – 2-е изд. – М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. – 576 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/dmitriev-s-a-slepov-n-n-volokonno-opticheskaya-tehnika-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy_c0ecd82d2ee.html. Доступ 09.01.2021.

12. Скларов О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие. – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 272 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/sklyarov-ok-volokonno-opticheskie-seti-i-sistemy-svyazi-uchebnoe-posobie_45ecba93b72.html. Доступ 09.01.2021.

13. Руденко Д. В. Структурные характеристики оптических коммутаторов // Мир транспорта. – 2012. – № 4. – С. 125–129. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/714/1063>. Доступ 09.01.2021.

14. Барабанова Е. А. Оптическая двухкаскадная коммутационная система для обработки больших объёмов данных // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 1 (70). – С. 7–18. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-7-18.

15. Листвин А. В., Листвин В. Н. Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРпт, 2005. – 208 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/listvin-av-listvin-vn-reflektometriya-opticheskikh-volokon_505adaab51a.html. Доступ 09.01.2021.

16. Zhou, Ting; Jia, Hao. Method to optimize optical switch topology for photonic network-on-chip. Optics Communications, 2018, Vol. 413, pp. 230–235. DOI: 10.1016/j.optcom.2017.12.062. ●

Информация об авторах:

Казанский Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, nkazan@inbox.ru.

Лысюк Полина Игоревна – преподаватель специальных дисциплин Колледжа связи № 54 имени П. М. Вострухина, Москва, Россия, polina-lpi@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.07.2019, актуализирована 18.09.2020, 19.01.2021, одобрена после рецензирования 06.09.2021, принята к публикации 17.09.2021.



Анализ конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок



Георгий КОТИЕВ



Кирилл ЕВСЕЕВ



Захид ГОДЖАЕВ

Георгий Олегович Котиев¹, Кирилл Борисович Евсеев², Захид Адыгезалович Годжаев³

^{1, 2} Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия.

✉ ² kb_evseev@bmstu.ru.

АННОТАЦИЯ

Обосновывается актуальность проведения комплексного сравнения различных вариантов исполнений транспортных средств для внедорожных контейнерных перевозок.

В связи с необходимостью определения конкретного технического решения при разработке гусеничного поезда предлагается использование метода анализа иерархий, предназначенного для решения задач, связанных с определением приоритетов многокритериальной иерархической структуры цели, а также в условиях наличия разнородных критериев или разнородных показателей.

В качестве основы комплексного сравнения транспортных средств для внедорожных контейнерных перевозок предложена иерархия свойства подвижности, которая считается определяющей для выбора приоритетного варианта конструктивно-компоновочного исполнения.

Целью работы является обоснование выбора приоритетного технического решения гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок на основе научно обоснованной иерархии свойства подвижности.

Для достижения поставленной цели предложено последовательное решение следующих задач: формирование требований к транспортным средствам и иерархии эксплуатационных свойств; анализ существующих конструктивно-компоновочных решений и обоснование выбора альтернатив (конкретных конструктивных исполнений гусеничных поездов); проведение иерархического синтеза критериев на основании результатов экспертной оценки; определение предварительного приоритета альтернатив; получение показателей эксплуатационных свойств методами имитационного математиче-

ского моделирования и/или натурно-математического моделирования; определение приоритетного технического решения.

В статье рассматривается целесообразность использования гусеничных поездов для перевозки как одного 45-футового контейнера, так и для одновременной перевозки двух 20-футовых контейнеров суммарной массой 61 т. В результате анализа существующих конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов установлено, что обеспечить такую грузоподъемность может только транспортное средство типа СБГ-701 «Ямал», разработанное в 80-х годах прошлого века и которое в настоящее время не производится. Существующие современные сочлененные гусеничные машины не могут обеспечить перевозку таких грузов. Поэтому становится актуальной задача определения приоритетного конструктивно-компоновочного решения для создания гусеничных поездов на современном этапе развития техники и технологий.

Предложены варианты конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок: седельный одношарнирный полуприцепный гусеничный поезд и седельный двухшарнирный гусеничный поезд. Используя метод анализа иерархий, на основе мнений экспертов и с учётом иерархии эксплуатационных свойств было установлено, что приоритетным техническим решением является седельный двухшарнирный гусеничный поезд. Однако в силу малого различия между показателями приоритетов вариантов, необходимо проведение дальнейших исследований по определению значений показателей эксплуатационных свойств и повторного сравнения с учётом полученных результатов.

Ключевые слова: гусеничный поезд, контейнеры, технический облик, конструктивно-компоновочное исполнение, метод анализа иерархий, приоритетное техническое решение.

Для цитирования: Котиев Г. О., Евсеев К. Б., Годжаев З. А. Анализ конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-3>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях различные страны активно осваивают ранее малодоступные территории, не имеющие развитой дорожной сети, дорог с твёрдым покрытием. Одним из важнейших элементов в разработке оптимальных транспортно-логистических моделей является рациональный выбор транспортных средств, отвечающих комплексу критериев, связанных в том числе с климатическими и экономическими условиями эксплуатации. Растущая контейнеризация перевозок, эффективность её использования в силу сокращения затрат на перевалку грузов и большей их сохранности обуславливают актуальность технических решений, способных обеспечить доставку грузовых контейнеров в такие местности. Случаем, требующим особого рассмотрения, являются географические зоны, где отсутствует возможность использования колёсной техники, в первую очередь, районы Крайнего Севера. Совокупность приведённых условий диктует необходимость поиска оптимальных конструктивно-компоновочных исполнений транспортных средств (ТС).

Для проведения комплексного сравнения их различных вариантов существуют различные методы. Известны методы, основанные на использовании обобщённых оценок по различным свойствам, они подробно рассмотрены в работах [1; 2]. Однако такие методы достаточно сложны для практического применения, учитывают относительно небольшое количество измерителей свойств, содержат большое количество субъективных коэффициентов оценки, и большинство из них плохо применимы на этапе проведения научно-исследовательских работ.

В настоящее время для комплексного сравнения эффективности различных транспортных средств широкое распространение получил *метод анализа иерархий (МАИ)*, разработанный Т. Саати для решения задач, связанных с необходимостью определения приоритетов многокритериальной иерархической структуры цели [3; 4]. Основным достоинством метода является возможность одновременного учёта различных разнородных критериев, которые могут иметь не только размерные и безразмерные показатели свойств, но и количественную и качественную оценку. Известны труды в области комплексного сравнения различных ТС, в основу

которых положен МАИ, подтверждающие его эффективность [5–11].

Целью работы является обоснование выбора приоритетного технического решения гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок на основе научно обоснованной иерархии свойства подвижности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод анализа иерархий

Рассмотрим применение метода анализа иерархий при сравнении различных вариантов конструктивно-компоновочных исполнений ТС для внедорожных контейнерных перевозок. Поскольку использование колёсных машин, как правило, требует дорог или подготовленной местности, то этот тип ТС из рассмотрения исключён.

На основе разработанной иерархии эксплуатационных свойств [12] проведём сравнительную оценку альтернатив ТС для внедорожных контейнерных перевозок методом анализа иерархий, полагая, что подвижность является определяющим критерием для выбора конструктивно-компоновочных исполнений.

Метод анализа иерархий для определения значимости критериев иерархии эксплуатационных свойств подвижности ТС для внедорожных контейнерных перевозок можно представить в виде следующих последовательных шагов [3; 4]:

1. Разработка иерархии эксплуатационных свойств подвижности ТС для внедорожных контейнерных перевозок.
2. Формирование матриц парных сравнений для каждого уровня критериев.
3. Получение экспертных суждений для каждой матрицы парных сравнений.
4. Определение локальных приоритетов критериев и альтернатив.
5. Определение согласованности матриц.
6. Синтез приоритетов.
7. Определение согласованности иерархии.

Анализ конструктивно-компоновочных решений транспортных средств для внедорожных контейнерных перевозок

В работе [13] установлено, что кардинальное повышение проходимости ТС для внедорожных контейнерных перевозок можно достичь только путём использования многозвенных гусеничных машин или гусеничных

поездов. Рассмотрим существующие и возможные конструктивно-компоновочные решения для гусеничных поездов, предназначенных для контейнерных перевозок, с учётом их классификации [13–16].

Работы по созданию экспериментальных образцов гусеничных поездов для перевозки тяжеловесных неделимых грузов в России велись в НИИ-21. В результате в 1964 году был создан макетный образец гусеничного вездехода ДГМ-1 грузоподъёмностью 16 т (рис. 1)¹, выполненного по полуприцепной схеме. В ходе проведения дорожных испытаний были определены преимущества гусеничных поездов по сравнению с одиночными гусеничными машинами при их эксплуатации в условиях Крайнего Севера в части проходимости, грузоподъёмности и грузоместимости.

Известно другое конструктивно-компоновочное решение для гусеничного шасси, которое в 1970 году было получено в результате проведения ряда научно-исследовательских и конструкторских работ, проводимых КБ-3 ленинградского Кировского завода. В результате были разработаны опытные образцы самоходной пусковой установки на гусеничном ходу, выполненные по вагонной схеме: «объект 825 Сп2» и «объект 825 Сп3», представляющие собой две гусеничные машины, имеющие независимое управление и соединённые через шарнирные опорно-поворотные устройства с рамой-лафетом грузоподъёмностью 60 т. Конструктивно-компоновочное решение не получило своего развития в силу высоких требований по вибронегативности к перевозимому грузу, которые на тот момент не могли обеспечить с использованием шасси существующих гусеничных машин. Внешний вид модели «объекта 825» на базе двух танков² представлен на рис. 2.

Другим гусеничным поездом, разработанным СКБ «Газстроймашина», является сочленённый гусеничный вездеход БТ361А-01 «Тюмень», разработанный в конце 1970-х годов. Гусеничный вездеход выполнен по



Рис. 1. Сочленённый гусеничный вездеход ДГМ-1.

прицепной мног шарнирной схеме: имел две шарнирно соединённые с транспортной платформой гусеничные тележки, которые, в свою очередь, между собой были соединены при помощи узла сочленения. Вездеход оснащался дизельным двигателем ЯМЗ-240БМ и имел механический привод ведущих колёс гусеничных тележек. Криволинейное движение вездехода осуществлялось за счёт управления гидроцилиндрами в узле сочленения. Для предотвращения возникновения продольно-угловых колебаний в шарнирных узлах, соединяющих транспортную платформу с гусеничными тележками, были установлены амортизаторы. Внешний вид вездехода БТ361А-01 «Тюмень»³ представлен на рис. 3, а его технические характеристики приведены в табл. 1.

В конце 1980-х годов совместно с канадской компанией Foremost⁴ разработан гусеничный вездеход СВГ-701 «Ямал» грузоподъёмностью до 70 тонн. Вездеход был построен по седельной двухшарнирной схеме: две независимые гусеничные тележки соединены при помощи двух шарниров с транспортной платформой, на которой размещались кабина и силовая установка. Внешний вид вездехода СВГ-701 «Ямал»³ представлен на рис. 4, а его технические характеристики приведены в табл. 2.

Другой конструкцией гусеничных поездов являются четырёхгусеничные вездеходы, выполненные по седельной двухшарнирной схеме, с двумя гусеничными тележками,

¹ Степанов А. Сочленённые гусеничные и колёсные машины высокой проходимости // Техника и вооружение. – 2003. – № 12. – С. 34–38. [Электронный ресурс]: Портал «ВикиЧтение». Раздел: Военное дело. <https://military.wikireading.ru/56023>. Доступ 21.09.2021.

² Интернет-портал информационного агентства «Оружие России» [Электронный ресурс]: <https://www.arms-expo.ru/articles/armed-forces/rvsn-nerealizovannyi-proekt-pgrktselina-2-s-raketoy-rt-23uttkh-15zh62/>. Доступ 21.09.2021. /

³ Славин О. Вездеход «Ямал»: болотный монстр / Автомобильный портал «5 Колесо». 03.06.2016 [Электронный ресурс]: <https://5koleso.ru/articles/obzory/vezdehod-yamal-bolotnyy-monstr/>. Доступ 21.09.2021.

⁴ Porter, D. From the Archives, The Foremost Yamal | Foremost Blog. Сайт компании Foremost. [Электронный ресурс]: <https://www.foremost.ca/archives-foremost-yamal/>. Доступ 21.09.2021.





Рис. 2. Самоходная пусковая установка «объект 825» (макет) (Музей истории и техники ОАО «Кировский завод», 2001 г. Фото: bastion-karpenko.narod.ru⁴).



Рис. 3. Сочленённый гусеничный вездеход БТ361А-01 «Тюмень»⁵.

Таблица 1
Технические характеристики
БТ361А-01 «Тюмень»^{1, 3}

Параметр	Значение*
Мощность двигателя, кВт	220
Среднее давление движителя на грунт, кг/см ²	0,33
Снаряжённая масса, т	46
Грузоподъёмность, т	36
Максимальная скорость, км/ч	15
Дорожный просвет, мм	600
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	15560х3740х3760
Ширина гусеницы, мм	1200
Габариты транспортной платформы (ДхШ), мм	8000х3500
Угол преодолеваемого подъёма, градус	16
Минимальный радиус разворота, м	17
Глубина преодолеваемого брода, м	1,5

*См., напр., [Электронный ресурс]: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/617530>. Доступ 21.09.2021.

опорно-поворотные устройства которых имеют механическую связь между собой, обеспечивающую согласование углов поворота гусеничных тележек в горизонтальной пло-

скости при повороте вездехода, при этом гусеничные тележки имеют возможность независимого «качания» в продольной плоскости тележки. В 1973 году в НАМИ разработан первый прототип НАМИ-0157 грузоподъёмностью 8 т, выполненный по такой схеме. Впоследствии в 1980-х годах на УралАЗе развёрнуто серийное производство вездехода Урал-5920^{5, 6, 7}, внешний вид которого представлен на рис. 5. Технические характеристики вездехода Урал-5920 приведены в табл. 3.

Среди зарубежных экспериментальных образцов гусеничных поездов отметим прототип подвижного грунтового ракетного комплекса стратегического назначения Midgetman, разработанный совместно компаниями Martin Marietta и Caterpillar в США в конце 1980-х годов, выполненный по при-

⁵ Автомобильный сайт Wroom.ru. [Электронный ресурс]: <https://wroom.ru/cars/ural/5920>. Доступ 21.09.2021.

⁶ Автомобильный сайт All-auto.ru. [Электронный ресурс]: <https://all-auto.org/858-ural-5920.html>. Доступ 21.09.2021.

⁷ Самойленко В. «Урал-5920» – машина, которая не нуждается в дорогах. Интернет-портал FB. 08.11.2016. [Электронный ресурс]: <https://fb.ru/article/275695/ural-mashina-kotoraya-ne-nujdaetsya-v-dorogah>. Доступ 21.09.2021.

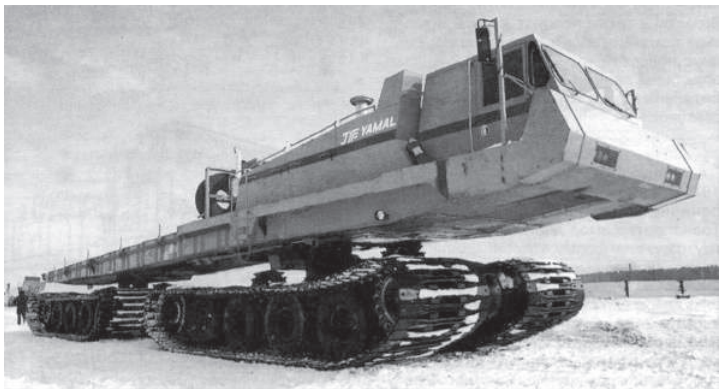


Рис. 4. Гусеничный вездеход СВГ-701 «Ямал»⁸.

цепной схеме. Полная масса гусеничного поезда составляла 108 т^{8,9} (рис. 6).

Существуют конструктивно-компоновочные решения зарубежных четырёхгусеничных вездеходов, выполненные по седельной одношарнирной схеме, среди которых наиболее известны канадские гусеничные вездеходы: Nodwell RN200 грузоподъемностью 12 т и Nodwell RN400 грузоподъемностью 18 т. Впоследствии компания Foremost запустила линию четырёхгусеничных вездеходов, выполненных по седельной двухшарнирной схеме: Foremost Chieftain-D, грузоподъемностью 13,6 т, и Foremost «Husky-8» грузоподъемностью 36 т, которые производятся и в настоящее время. Внешний вид вездехода Foremost Husky-8¹⁰ представлен на рис. 7, а технические характеристики приведены в табл. 4.

Кроме этого, среди четырёхгусеничных вездеходов, производимых компанией Foremost, выделим следующие модели: Foremost Chieftain-R грузоподъемностью 13,6 т и Foremost Chieftain-C грузоподъемностью 15 т, выполненные по прицепной сочленённой схеме. Они оснащены гидравлическим приводом на узле сочленения, который обеспечивает поворот транспортного средства.

Среди гусеничных поездов, выпускающихся на сегодняшний день на территории РФ, существуют двухзвенные гусеничные вездеходы семейства «Витязь» различной

⁸ Secret Projects Forum. [Электронный ресурс]: <https://www.secretprojects.co.uk/threads/midgetman-sicbm-mobile-launchers.1076/>. Доступ 21.09.2021.

⁹ ICBM Hard Mobile Launcher. [Электронный ресурс]: <https://weaponsandwarfare.com/2019/06/05/icbm-hard-mobile-launcher/>. Доступ 21.09.2021.

¹⁰ Веб-сайт компании Foremost. [Электронный ресурс]: <https://www.foremost.ca/foremost-mobile-equipment/tracked-vehicles/husky-8/>. Доступ 21.09.2021.

Таблица 2

Технические характеристики
СВГ-701 «Ямал»³

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	525
Среднее давление движителя на грунт, кг/см ²	0,39
Снаряжённая масса, т	97,5
Грузоподъёмность, т	70
Максимальная скорость, км/ч	15
Дорожный просвет, мм	520
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	20560х4700х4500
Ширина гусеницы, мм	1850
Длина транспортной платформы, мм	12000
Угол преодолеваемого подъёма, градус	30
Минимальный радиус разворота, м	22
Глубина преодолеваемого брода, м	2,6

грузоподъёмности, выполненные по прицепной схеме, криволинейное движение которых обеспечивается кинематическим способом, путём создания складывающего момента в поворотно-сцепном устройстве, расположенного между секциями.

Для внедорожных контейнерных перевозок в настоящее время могут быть использованы в качестве базовой модели двухзвенные гусеничные транспортёры ДТ-30-1 или ДТ-30МН, дополнительно оборудованные транспортной платформой. Внешний вид и габаритные размеры транспортёров¹¹ представлены на рис. 8 и 9, а их технические характеристики приведены в табл. 5.

Представим основные технические характеристики существующих гусеничных поездов графически в виде их зависимостей от грузоподъёмности ТС (рис. 10).

¹¹ «Витязь» – машиностроительная компания, город Ишимбай. [Электронный ресурс]: <http://www.bolotohod.ru/>. Доступ 21.09.2021.





Рис. 5. Гусеничный вездеход Урал-59206.



Рис. 6. Подвижный грунтовой ракетный комплекс Midgetman[®].

Таблица 3
Технические характеристики вездехода
Урал-5920 ^{5, 6, 7}

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	154
Среднее давление движителя на грунт, кг/см ²	0,22
Снаряжённая масса, т	14,5
Грузоподъёмность, т	8
Максимальная скорость, км/ч	30
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	9900х300х3700
Ширина гусеницы, мм	970
Габариты транспортной платформы (ДхШ), мм	5740х2317
Угол преодолеваемого подъёма, градус	30
Минимальный радиус разворота, м	14
Глубина преодолеваемого брода, м	1,8

Анализируя технические характеристики как функции грузоподъёмности, можно сделать следующие выводы:

- с ростом грузоподъёмности гусеничных поездов возрастает минимальный радиус разворота и среднее давление на грунт, при

Таблица 4
Технические характеристики
Foremost Husky-8¹⁰

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	328
Среднее давление движителя на грунт, кг/см ²	0,32
Снаряжённая масса, т	42,9
Грузоподъёмность, т	36,3
Максимальная скорость, км/ч	14,5
Дорожный просвет, мм	533
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	14757х3632х3810
Ширина гусеницы, мм	1430
Габариты транспортной платформы (ДхШ), мм	10465х2743
Угол преодолеваемого подъёма, градус	31
Минимальный радиус разворота, м	14
Глубина преодолеваемого брода, м	1,43

этом коэффициент грузоподъёмности в среднем равен 0,8 и в основном зависит от принятых конструктивно-компоновочных решений;

- среднее давление на грунт у рассмотренных гусеничных вездеходов находится в пределах от 0,2 до 0,4 кг/см²;



Рис. 7. Гусеничный вездеход Foremost Husky-8¹⁰.

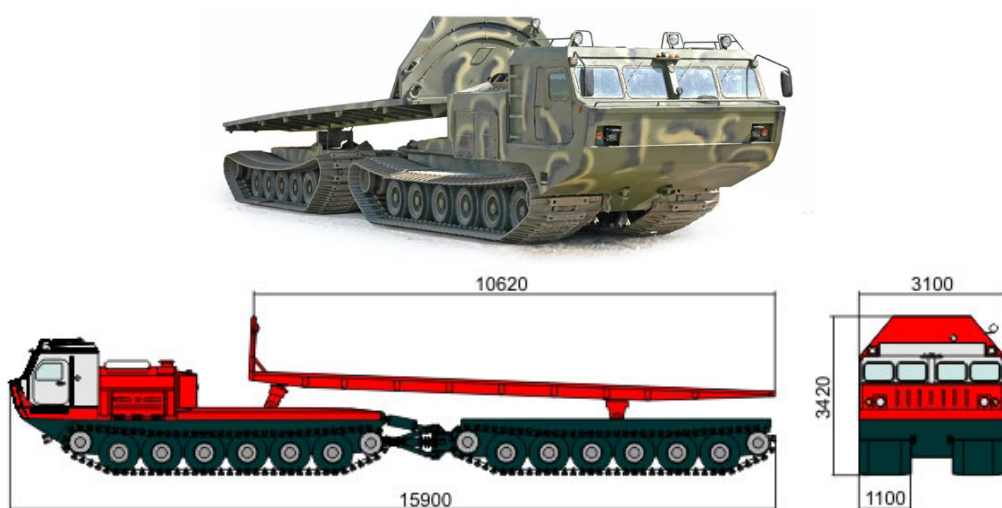


Рис. 8. Сочленённый гусеничный транспортёр ДТ-30-1 и его габаритные размеры¹¹.

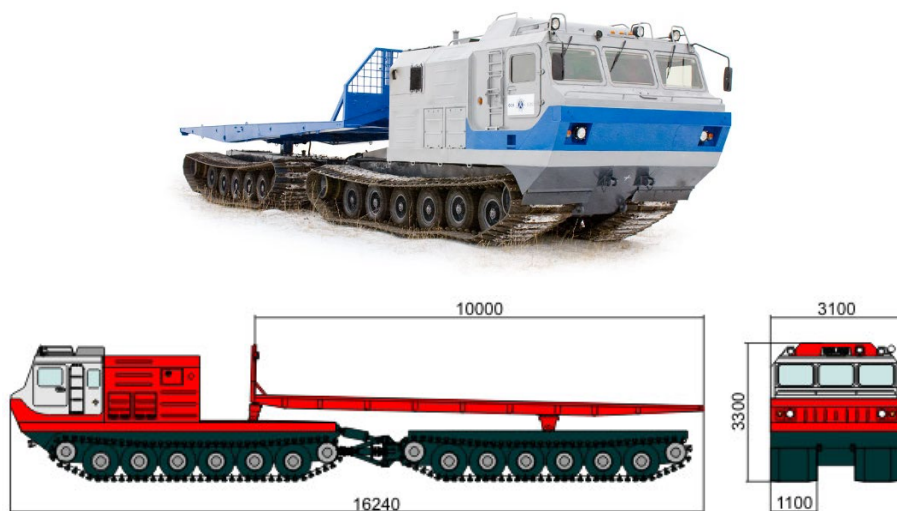


Рис. 9. Сочленённый гусеничный транспортёр ДТ-30МН и его габаритные размеры¹¹.



Таблица 5

Технические характеристики гусеничных транспортёров¹² ДТ-30-1 и ДТ-30МН

Параметр	ДТ-30-1	ДТ-30МН
Мощность двигателя, кВт	522	588
Среднее давление движителя на грунт, кг/см ²	0,3	0,3
Снаряжённая масса, т	29	30
Грузоподъёмность, т	30	30
Максимальная скорость, км/ч	37	37
Дорожный просвет, мм	350	350
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	15900х3100х3420	16240х3100х3300
Ширина гусеницы, мм	1100	1100
Длина транспортной платформы, мм	10620	10000
Угол преодолеваемого подъёма, градус	30	30
Минимальный радиус разворота, м	17,3	17,3
Глубина преодолеваемого брода, м	1,8	1,8

• максимальная скорость движения определяется мощностью силовой установки и в зависимости от грузоподъёмности и принятых конструктивно-компоновочных решений изменяется от 15 км/ч до 37 км/ч;

• угол преодолеваемого подъёма для всех рассмотренных гусеничных вездеходов принимает практически постоянное значение не менее 30 градусов.

Решение задачи выбора оптимального варианта

При использовании гусеничных поездов для контейнерных перевозок экономически целесообразной представляется возможность перевозки контейнеров с использованием одного универсального транспортного средства, позволяющего обеспечить перевозку как одного 45-футового контейнера, так и одновременную перевозку двух 20-футовых контейнеров. Таким образом, грузоподъёмность ТС определяется суммарной массой брутто двух 20-футовых контейнеров (61 т), а габаритные размеры транспортной платформы должны соответствовать габаритам 45-футового контейнера. Из представленных гусеничных вездеходов обеспечить такую грузоподъёмность может только вездеход СВГ-701 «Ямал», который в настоящее время не производится. Грузоподъёмность современных сочленённых гусеничных транспортёров ДТ-30-1 и ДТ-30МН составляет 30 т, таким образом, габаритные размеры транспортной платформы и грузоподъёмность транспортёров позволяют перевозить только один 20-футовый

контейнер. Рассмотренные зарубежные образцы гусеничных поездов также не могут обеспечить требуемую грузоподъёмность или являться объектом вооружения, в связи с этим актуальна задача определения приоритетного технического решения для создания гусеничных поездов, предназначенных для контейнерных перевозок и позволяющих осуществить перевозку как одного 45-футового контейнера, так и одновременную перевозку двух 20-футовых контейнеров.

Для решения задачи определения предпочтительного варианта технического облика транспортного средства для внедорожных контейнерных перевозок будем использовать МАИ. Для иерархии подвижности (рис. 11) [12], в соответствии с МАИ, составим таблицы матриц парных сравнений критериев и альтернатив с использованием экспертных оценок, выполненных авторами.

В качестве сравниваемых альтернатив рассмотрим беспилотные гусеничные поезда: седельный одношарнирный полуприцепной гусеничный поезд (альтернатива «А») и седельный двухшарнирный гусеничный поезд (альтернатива «В»), технический облик которых рассмотрен и обоснован в работе [13]. Внешний вид альтернатив представлен на рис. 12.

После проведения экспертной оценки для верхнего первого уровня иерархии матрица парных сравнений будет иметь вид, представленный в табл. 6. Также составлены матрицы парных сравнений для критериев второго уровня иерархии и определяются локальные

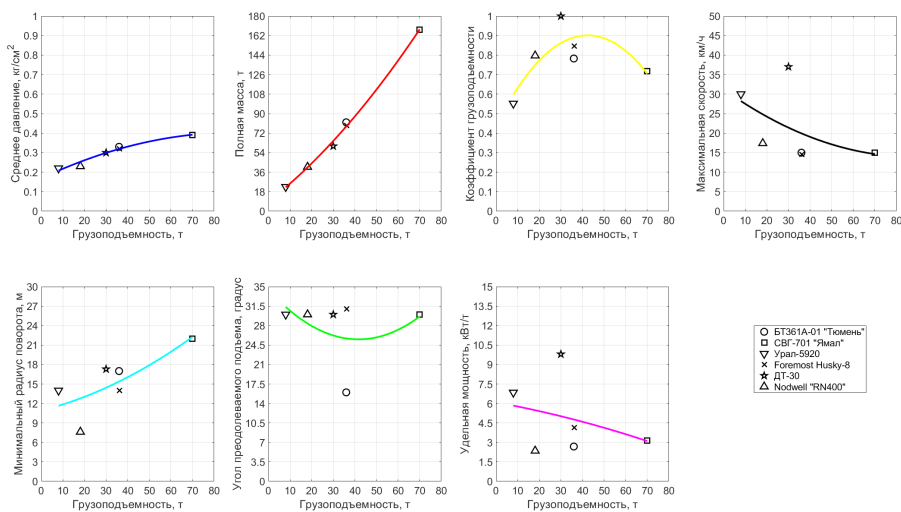


Рис. 10. Технические характеристики существующих гусеничных поездов (выполнено авторами).

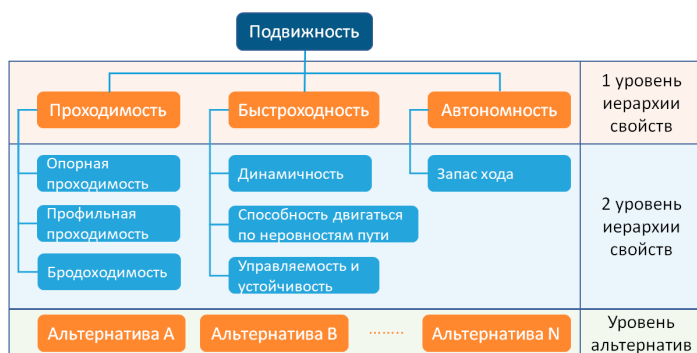


Рис. 11. Иерархия эксплуатационных свойств ТС для контейнерных перевозок (выполнено авторами).

приоритеты. Матрицы парных сравнений для критериев второго уровня иерархии представлены в таблицах 7 и 8.

Локальные приоритеты критерия «запас хода» (КЗ.1) будут соответствовать локальным приоритетам критерия автономности первого уровня иерархии.

Для каждой матрицы парных сравнений критериев определены локальные приоритеты, а затем для критериев низшего уровня определены глобальные приоритеты (табл. 9) с учётом локальных приоритетов критериев вышестоящего уровня иерархии свойств.

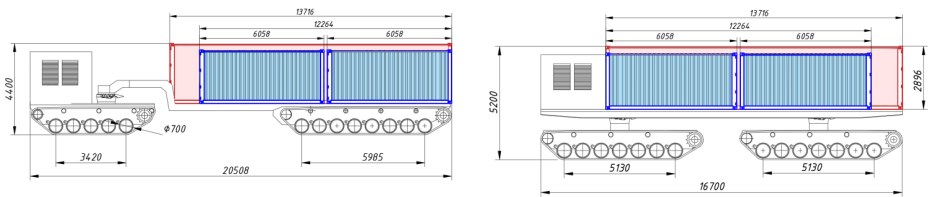
Анализируя полученный вектор глобальных приоритетов критериев низшего уровня иерархии, можно сделать вывод, что приоритетными критериями являются следующие (в порядке убывания значимости): опорная проходимость, запас хода, профильная проходимость и бродоходимость. Перечисленные критерии в большей степени влияют на выбор

конкретного конструктивного исполнения ТС по сравнению с остальными: динамичностью, управляемостью и устойчивостью и способностью двигаться по неровностям пути. Определяющим критерием является опорная проходимость, которая имеет максимальный приоритет, равный 0,382.

Аналогично для рассматриваемых альтернатив ТС с учётом экспертной оценки (качественная оценка) была получена матрица парных сравнений альтернатив и определён вектор локальных приоритетов для каждой матрицы (табл. 10).

Для оценки адекватности полученных результатов необходимо оценить согласованность матриц парных сравнений, которые отражают субъективные суждения, так как компоненты, входящие в них, как правило, отличаются от согласованных значений. Мерой оценки степени отклонения от согласованности является индекс согласованности





Альтернатива «А»
Альтернатива «В»
Рис. 12. Альтернативы гусеничных ТС для контейнерных перевозок (выполнено авторами).

Таблица 6

Матрица парных сравнений критериев первого уровня иерархии
(выполнено авторами)

Подвижность	Проходимость	Быстроходность	Автономность
Проходимость (K1)	1	5	3
Быстроходность (K2)	1/5	1	1/3
Автономность (K3)	1/3	3	1

Таблица 7

Матрица парных сравнений критерия проходимости (выполнено авторами)

Проходимость	Опорная проходимость	Профильная проходимость	Бродоходимость
Опорная проходимость (K1.1)	1	3	3
Профильная проходимость (K1.2)	1/3	1	1
Бродоходимость (K1.3)	1/3	1	1

Таблица 8

Матрица парных сравнений критерия быстроходности (выполнено авторами)

Быстроходность	Динамичность	Способность двигаться по неровностям пути	Управляемость и устойчивость
Динамичность (K2.1)	1	5	1/7
Способность двигаться по неровностям пути (K2.2)	1/5	1	1/9
Управляемость и устойчивость (K2.3)	7	9	1

Таблица 9

Глобальные приоритеты критериев
нижнего уровня иерархии
(выполнено авторами)

Критерий	Приоритет
Опорная проходимость (K1.1)	0,382
Профильная проходимость (K1.2)	0,1275
Бродоходимость (K1.3)	0,1275
Динамичность (K2.1)	0,015
Способность двигаться по неровностям пути (K2.2)	0,045
Управляемость и устойчивость (K2.3)	0,045
Запас хода (K3.1)	0,258

(ИС) [4], который определяется следующим выражением:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

где λ_{max} – максимальное собственное значение рассматриваемой матрицы парных

сравнений, а n – размерность матрицы парных сравнений.

Индекс согласованности сопоставляется со статистическим случайным значением, называемым случайным индексом (СИ), получаемым в результате обработки большого числа матриц различной размерности [3; 4]. Отклонение от согласованности считается допустимым при отношении ИС к СИ менее 10 %. Для рассмотренных матриц парных сравнений отношение ИС к СИ не превышает 2,5 %, таким образом, мнения экспертов считаются согласованными.

Далее, на основании полученных глобальных приоритетов критериев и локальных приоритетов альтернатив проводится иерархический синтез, в результате которого определяется глобальный вектор предпочтительности альтернатив, результаты приведены в табл. 11.

Таблица 10

Матрицы парных сравнений альтернатив и вектор их локальных приоритетов
(выполнено авторами)

			Вектор приоритетов				Вектор приоритетов
K1.1	A	B		K2.1	A	B	
A	1	1	0,5	A	1	1	0,5
B	1	1	0,5	B	1	1	0,5
K1.2	A	B		K2.2	A	B	
A	1	1/3	0,25	A	1	1	0,5
B	3	1	0,75	B	1	1	0,5
K1.3	A	B		K2.3	A	B	
A	1	1/5	0,17	A	1	5	0,83
B	5	1	0,83	B	1/5	1	0,17
K3.1	A	B					
A	1	1	0,5				
B	1	1	0,5				

Таким образом, анализируя результаты, полученные на основе экспертной оценки, можно установить, что приоритетным техническим решением является седельный двух-шарнирный гусеничный поезд, однако, учитывая незначительную разницу в значениях вектора глобальных приоритетов, необходимо проведение дальнейших исследований по определению значений показателей свойств и повторной оценки с учётом полученных результатов. Очевидно, что сравнительная оценка эффективности применения конструктивного исполнения гусеничных поездов для вновь разрабатываемых ТС не представляется возможной без имитационного математического моделирования рабочих процессов на ЭВМ [17; 18]. Также для решения представленной задачи может эффективно применяться комплекс натурно-математического моделирования, позволяющий имитировать движение транспортных средств по статистически заданным трассам под управлением «водителя-оператора», находящегося за компьютером, в режиме «реального времени».

Таким образом, сравнение различных вариантов конструктивно-компоновочных исполнений гусеничных поездов для внедорожных контейнерных перевозок состоит из следующих этапов:

- формирование иерархии эксплуатационных свойств с разделением на уровни критериев;
- определение альтернатив по результатам анализа конструктивно-компоновочных исполнений;
- экспертная оценка вариантов альтернатив с использованием метода анализа иерархий, выбор альтернатив;

Таблица 11

Глобальные приоритеты альтернатив
(выполнено авторами)

Альтернатива	Приоритет
«А»	0,44
«В»	0,56

- определение показателей свойств для выбранных альтернатив методами имитационного математического моделирования (натурно-математического моделирования);
- определение приоритетного технического решения с учётом результатов, полученных при проведении имитационного математического моделирования (натурно-математического моделирования).

Выводы

В результате анализа конструктивно-компоновочных исполнений существующих гусеничных поездов установлены зависимости, отражающие изменение основных технических характеристик, связанных с требуемой грузоподъёмностью ТС. Из представленных гусеничных вездеходов обеспечить такую грузоподъёмность может только не выпускающийся сегодня вездеход СВГ-701 «Ямал». Существующие гусеничные вездеходы не могут обеспечить требуемую грузоподъёмность, поэтому на основании результатов анализа сформированы требования к техническим характеристикам разрабатываемых транспортных средств для перевозки одного 45-футового контейнера или двух 20-футовых контейнеров.

На основе иерархии эксплуатационных свойств беспилотных гусеничных поездов,





предназначенных для внедорожных контейнерных перевозок, и мнений экспертов методом анализа иерархий установлено, что приоритетным техническим решением является седельный двухшарнирный гусеничный поезд, но в связи с незначительной разницей в значениях глобальных приоритетов для гусеничных поездов, необходимо проведение дальнейших исследований по определению значений показателей свойств с использованием математического моделирования рабочих процессов гусеничных поездов и повторной оценки с учётом полученных результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Морозов А. В., Котровский А. А., Филев А. В. Выбор метода комплексного сравнения объектов автобронетанковой техники на этапе проектирования // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. – 2014. – № 2 (104). – С. 120–123. [Электронный ресурс]: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2014/02/120-123.pdf>. Доступ 22.09.2021.
2. Шпилов В. В., Каспаров В. Б., Акимущин А. В. [и др.] Методы оценки эффективности полноприводной автомобильной техники / Под общ. ред. В. В. Шпилова. – Бронницы, 2005. – 144 с.
3. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/saati-t-prinyatie-resheniy-metod-analiza-ierarhiy_7fc4629a50e.html. Доступ 22.09.2021.
4. Саати Т. Л., Кернс К. Аналитическое планирование. Орг. систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/saati-t-kerns-l-analiticheskoe-planirovanie-organizatsiya-sistem_62e9f43e1af.html. Доступ 22.09.2021.
5. Плиев И. А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал ААИ. – 2010. – № 3 (62). – С. 46–49. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21251680>. Доступ 22.09.2021.
6. Плиев И. А. Оценка технического уровня семейств автомобилей многоцелевого назначения на основе метода анализа иерархий // Журнал ААИ. – 2010. – № 5 (64). – С. 50–54. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22076583>. Доступ 22.09.2021.
7. Рязанцев В. И., Морозов А. В. Методика проведения согласования экспертных оценок полученных путём индивидуального анкетирования методом анализа иерархий // Инженерный вестник. – 2014. – № 12. – С. 1–9. [Электронный ресурс]: <http://www.ainjournal.ru/file/out/742942>. Доступ 22.09.2021.

8. Морозов А. В. Комплексное сравнение объектов военной автомобильной техники типа MRAP на стадии проектирования // Журнал ААИ. – 2015. – № 1 (90). – С. 40–45. [Электронный ресурс]: <http://www.aae-press.ru/f/90/40.pdf>. Доступ 22.09.2021.

9. Дубенский М. Я. Метод выбора базового шасси при создании спецавтомобиля / Дис... канд. техн. наук. – М., 1999. – 130 с. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002797298>. Доступ 22.09.2021.

10. Постников М. В. Метод комплексного сравнения военных гусеничных машин на основе анализа иерархий / Дис... канд. техн. наук. – М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана, 2003. – 240 с. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002327454>. Доступ 22.09.2021.

11. Наумов В. Н., Рождественский Ю. Л., Брекалов В. Г. Оценка конструкций и компоновок военных гусеничных машин с помощью метода анализа иерархий: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 64 с.

12. Евсеев К. Б. Иерархия эксплуатационных свойств транспортных средств для перевозки тяжёлых недеформируемых грузов в условиях Крайнего Севера // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. – 2021. – № 2 (133). – С. 74–84. [Электронный ресурс]: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2021/02/074-084.pdf>. Доступ 22.09.2021.

13. Евсеев К. Б. К вопросу о формировании технического облика наземных транспортных средств, предназначенных для внедорожных контейнерных перевозок // Грузовик. – 2021. – № 7. – С. 3–8. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46380850>. Доступ 22.09.2021.

14. Тарасов В. В., Фаробин Я. Е. Исследование поворотливости сочленённых гусеничных машин // Вестник бронетанковой техники. – 1964. № 1. – С. 47–55.

15. Фаробин Я. Е. Теория поворота транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

16. Зубов П. П., Макаров В. С., Зезюлин Д. В. [и др.] Обзор существующих конструкций сочленённых гусеничных машин и рекомендации по выбору их параметров // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. – 2015. – № 2 (109). – С. 170–176. [Электронный ресурс]: <https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2015/02/170-176.pdf>. Доступ 22.09.2021.

17. Kotiev, G. O., Gumerov, I. F., Stadukhin, A. A., Kositsyn, B. B. Selection of the required deceleration for high-mobility wheeled vehicles with wear resistant brake systems IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, статья № 879, (2020) 0012030. DOI: 10.1088/1757-899X/819/1/012030.

18. Kotiev, G., Padalkin, B., Miroshnichenko, A., Stadukhin, A., Kositsyn, B. A theoretical study on the high-speed electric tracked vehicle mobility IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, статья № 820 (2020) 0012012. DOI: 10.1088/1757-899X/820/1/012012. ●

Информация об авторах:

Котиев Георгий Олегович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Колёсные машины» Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Москва, Россия, kotievgo@ya.ru.

Евсеев Кирилл Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Колёсные машины» Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Москва, Россия, kb_evseev@bmstu.ru.

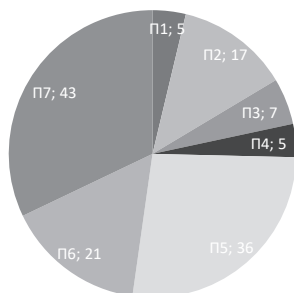
Годжаев Захид Адыгезалович – член корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия, fic51@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.09.2021, одобрена после рецензирования 20.10.2021, принята к публикации 03.11.2021.



В РАЗДЕЛЕ «ЭКОНОМИКА»

в этом номере публикуются материалы, содержащие предложения по разработке новых транспортных услуг и продуктов и гипотезы подходов к оценке экономических и технологических факторов деятельности транспорта.

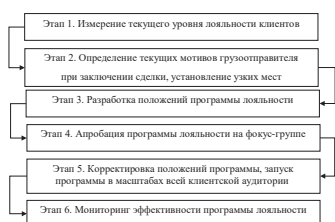


ЭФФЕКТИВНОСТЬ

ЧЕРЕЗ

КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТЬ 36

Как транспортные компании могут использовать программы лояльности для удержания существующих и привлечения новых клиентов. Вслед за авиационными и железнодорожными пассажирскими перевозками такие программы становятся актуальными и для перевозок грузов частными лиц железными дорогами. Обзор цикла публикаций автора обобщает высказанные гипотезы.



ЭКОНОМИКА



ЛОУКОСТЕР

НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПУТИ

45

Многие железнодорожные компании используют гибкую тарифную политику для пассажиров. Появились и целевые маршруты, в том числе и высокоскоростные, предлагающие экономичные варианты перевозок на определённых условиях. Есть ли более широкие перспективы у организации низкобюджетных поездов в дальнем пассажирском сообщении по примеру авиации? Высказываются гипотезы об оптимальных параметрах создания конкурентного продукта и о том, что низкобюджетные перевозки должны опираться на новые технологии.

ЭКОНОМИКА

И ТРАНСПОРТ

50

Влияние транспортной системы на формирование и реализацию экономического и технологического потенциала отдельного региона страны. Способна ли лучшая связанность территорий стать эффективным инструментом взаимного развития транспортных и экономических систем? Постановка вопросов и первые гипотезы.





Анализ лояльности клиентов-частных лиц с целью повышения клиентоориентированности компании-грузоперевозчика



Ольга Анатольевна Юсупова

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ qwerty6020@mail.ru.

Ольга ЮСУПОВА

АННОТАЦИЯ

Клиентоориентированность компаний-грузоперевозчиков на высококонкурентном рынке транспортно-логистических услуг играет чрезвычайно важную роль, оказывая влияние на готовность проявлять гибкость в политике ценообразования и других параметрах оказания услуг при формировании персонального клиентского предложения. Это позволяет привлекать пул новых клиентов, расширять базу постоянных клиентов на основе их приверженности бренду. Одним из современных инструментов, способствующих достижению указанной цели, выступает программа клиентской лояльности.

Цель данной статьи – обзор и обобщение исследования и ряда недавних публикаций автора [1–4] и других исследователей для обоснования состава предложений программы клиентской лояльности на базе анализа и оценки мотивов и пожеланий самих клиентов. Для достижения поставленной цели, кроме метода монографического анализа публикаций по указанной теме, исследо-

вание в своей практической части базировалось на опросе потребителей.

В качестве объекта исследования был выбран сервис по перевозке сборных грузов «РЖД-Экспресс» компании АО «РЖД Логистика», предметом стала лояльность частных лиц-отправителей груза. В ходе опроса респондентов ставилась задача изучить потребительские предпочтения и мотивы выбора такой услуги, готовность рекомендовать данный сервис людям из ближайшего окружения, намерение поддерживать с компанией отношения на долгосрочной основе, потребительские ожидания от взаимодействия с компанией.

Интерпретация результатов опроса свидетельствует о заинтересованности в наличии такого маркетингового инструмента, как программа лояльности.

По результатам анализа предложена система индикаторов для её оценки; обоснованы предложения по формированию положений программы лояльности с целью повышения качества транспортного обслуживания.

Ключевые слова: транспорт, грузоперевозки, лояльность клиентов, клиентоориентированность, качество транспортного обслуживания.

Для цитирования: Юсупова О. А. Анализ лояльности клиентов-частных лиц с целью повышения клиентоориентированности компании-грузоперевозчика // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 36–44. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-4>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях высокой конкуренции на рынке транспортных услуг чрезвычайно важную роль играет клиентоориентированность компании, готовность проявлять гибкость в политике ценообразования и других параметрах оказания транспортно-логистических услуг при формировании персонального клиентского предложения. Это позволяет привлекать пул новых клиентов, расширять базу постоянных клиентов на основе их приверженности бренду. Одним из современных инструментов, способствующих достижению указанной цели, выступает программа клиентской лояльности. Вопрос целесообразности разработки подобной программы изучался автором ранее [1].

В предыдущих публикациях автора [1–4] приводились результаты анкетирования грузоотправителей, воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс». На основе столбальной шкалы респонденты оценивали качество услуги с позиций клиентоориентированности по предложенной системе критериев, а также оценивали значимость для них самого критерия [1–4]. «Проведённый опрос позволил установить, что существует ряд «узких» мест в работе в части сотрудничества с частными лицами при отправке грузов, одним из таких пробелов, по мнению клиентов, оказалось отсутствие программы лояльности» [3].

Целевая установка приводимого в рамках данной статьи исследования заключается в обосновании положений программы кли-

ентской лояльности на базе анализа и оценки мотивов и пожеланий самих клиентов. Для её достижения автором использовался метод монографического исследования публикаций по указанной теме, а в практической части – опрос потребителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Практика и эффективность применения программ клиентской лояльности

Существуют, как минимум, два весо-мых довода в пользу наличия такой программы.

Первый довод состоит, как указывалось ранее в публикации, в том, что «программы клиентской лояльности как действенный инструмент находят применение в практике транспортно-логистических компаний отечественного и международного уровня» [3].

Непосредственно в сфере грузоперевозок автором были изучены условия программ лояльности таких компаний, как: «ТК ЯН», «Возовоз», «Грузовичкофф», «DHL» [3].

В результате исследования было установлено, что существует некий принятый шаблон содержания данной программы. Помимо общих положений в ней предусматриваются два основных раздела (рис. 1).

Детальное изучение условий программ подтверждает продолжительность их применения в практике грузоперевозчиков, а, следовательно, доказывает целесообразность такого применения.

Вторым дополнительным доводом в пользу внедрения программы клиентской лояль-

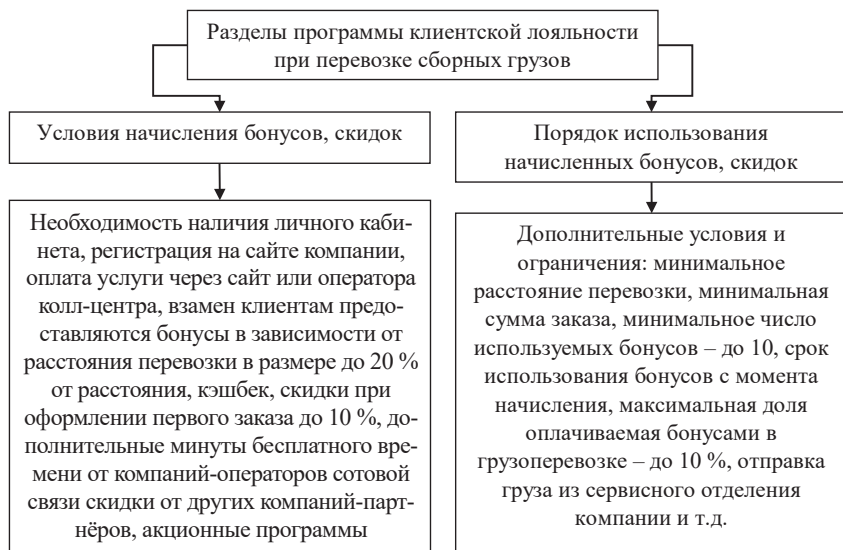


Рис. 1. Разделы программы клиентской лояльности транспортно-логистической компании (составлено автором).



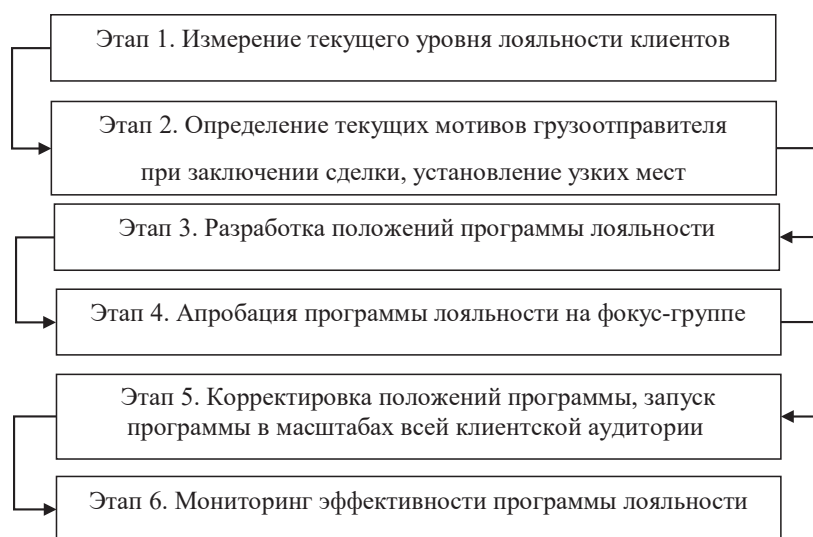


Рис. 2. Алгоритм разработки и внедрения программы лояльности в транспортно-логистической компании (составлено автором [4]).

ности является существование аналогичного маркетингового инструмента в сфере перевозок пассажиров.

Наибольшей известностью обладают многочисленные программы лояльности, реализуемые авиационными компаниями, анализу эффективности которых посвящены многочисленные научные (например, [5–7]) и консалтинговые исследования и публикации в деловой прессе, на сайтах компаний-перевозчиков или партнёров программ, а также предлагаемые пользователям ранжированные списки перевозчиков в соответствии с системой заданных составителями критериев.

Непосредственно в сфере железнодорожного транспорта в России речь идёт о «программе «РЖД-бонус», благодаря которой на протяжении девяти лет пассажиры обменивают накопленные бонусы на поездки в поездах и вагонах АО «ФПК», «Сапсан» и «Аллегро»» [3]. «Численность участников программы с каждым годом увеличивается» [3] и, по последним данным, превысила отметку в три миллиона человек, которые совершили за последнюю пятилетку более двух сотен тысяч премиальных поездок. Положительный опыт использования программы «РЖД-Бонус» позволяет подтвердить ранее высказанное мнение о том, что аналогичный инструмент целесообразно применять при построении договорных отношений с частными отправителями грузов [3]. При этом следует напомнить, что с позиции маркетинга «РЖД-Бонус» представляет собой многокомпонентный

«продукт, в нём сочетаются различные инструменты: и эмоциональные (соревновательные и торжественные мероприятия), и материальные (скидки, акции, бонусы)», и информационные (запускаемые в залах ожидания и поездах рекламные видеоролики) [3]. «Благодаря собранным данным компания имеет возможность проводить полноценный анализ и оценку уровня удовлетворённости пассажиров» [4].

Подходы к формированию программ лояльности для физических лиц при перевозке сборных грузов

Формирование эффективной программы лояльности при взаимодействии с клиентами-физическими лицами в рамках договоров перевозки сборных грузов, как подчёркивалось ранее, «становится возможным только при последовательном выполнении логически взаимосвязанных этапов, а не при стихийном внедрении тех или иных акций, либо копировании маркетинговых продуктов компаний-конкурентов» (рис. 2) [4]. Анархичные действия могут стать причиной убытков компании, потери авторитетности бренда, клиентской базы, уникальности сервиса «РЖД-Экспресс» в глазах грузоотправителей.

Первый этап включает в себя измерение текущего уровня преданности клиентов компании. Наибольшей популярностью среди всех инструментов анализа пользуется коэффициентный метод. В учебной, монографической и периодической литературе представ-

Таблица 1

Система коэффициентов для анализа лояльности клиентской аудитории
(выполнено автором) [3]

Наименование показателя	Механизм расчёта	Экономическое содержание
K1 – коэффициент текучести грузоотправителей	Отношение числа грузоотправителей, прекративших сотрудничество с компанией за расчётный период, к общей численности клиентов на начало периода	Доля потерянной клиентской аудитории в клиентской базе. Может рассчитываться как по компании в целом, так и по отдельным предложениям, за один или несколько периодов
K2 – коэффициент постоянства грузоотправителей	Отношение числа активных клиентов в расчётном периоде к общей численности клиентов на начало периода. $K2 = 1 - K1$	Процент грузоотправителей, сохранивших отношения с ОАО «РЖД» в течение расчётного периода, в общей численности клиентов на начало периода
K3 – коэффициент удержания грузоотправителей	Отношение числа грузоотправителей, повторно воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс» к общему количеству грузоотправителей в предыдущем периоде	Процент грузоотправителей, воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс» повторно в общем количестве клиентов в предыдущем периоде
K4 – средний срок сотрудничества с грузоотправителем	Отношение суммы периодов сотрудничества с каждым клиентом к общей численности грузоотправителей-физических лиц	Отражает продолжительность сотрудничества с клиентами. Коэффициент может быть рассчитан как по компании в целом, так и по отдельным предложениям, за один или несколько периодов
K5 – коэффициент стабильности клиентской аудитории	Отношение численности выбывших за расчётный период клиентов к сумме численности существующих на его начало и привлечённых за расчётный период	Иллюстрирует стабильность клиентской базы. Теоретически коэффициент должен стремиться к 1 (или 100 %)
K6 – средняя стоимость приобретённых услуг грузоперевозки	Отношение суммы всех договоров грузоперевозки с физическими лицами к численности грузоотправителей-физических лиц в расчётном периоде	Показывает среднюю сумму денежных средств, уплаченную одним грузоотправителем
K7 – коэффициент повторных покупок грузоотправителей	Отношение количества договоров грузоперевозки с физическими лицами за расчётный период к численности грузоотправителей-физических лиц, заключивших договор грузоперевозки в расчётном периоде	Показывает количество сделок, приходящееся на одного отправителя груза

лен широкий перечень тех или иных коэффициентов, по итогам их систематизации автором составлена табл. 1 [3].

Аргументом в пользу расчёта представленных в таблице коэффициентов до разработки программы является необходимость формирования представлений о текущем уровне лояльности, а после внедрения программы – потребность «в понимании текущего состояния клиентской базы для отслеживания её изменений и факторов, которые могут повлиять на них в будущем» [3].

Непосредственно определение числовых значений K1–K7 для ОАО «РЖД» автором не осуществлялось по причине закрытости данных, необходимых для их расчёта.

Результаты расчёта и анализа указанных в таблице коэффициентов могут стать основанием для углубленного исследования факторов, повлиявших на полученные значения. Так, факторный анализ причин текучести грузоотправителей (K1) предполагает установление состава причин, в силу которых грузоотправителями не была совершена повторная сделка. В их числе могут быть такие, как сотрудничество с компаниями-конкурентами, неудовлетворённость составом дополнительных услуг для сервиса «РЖД-Экспресс», качеством оказания услуги, условиями предоставления гарантий клиенту.

В дополнение к расчётам коэффициента стабильности клиентской аудитории (K5)





Рис. 3. Оценка респондентами степени готовности рекомендовать сервис «РЖД-Экспресс» ближайшему окружению (составлено автором на основе опроса).

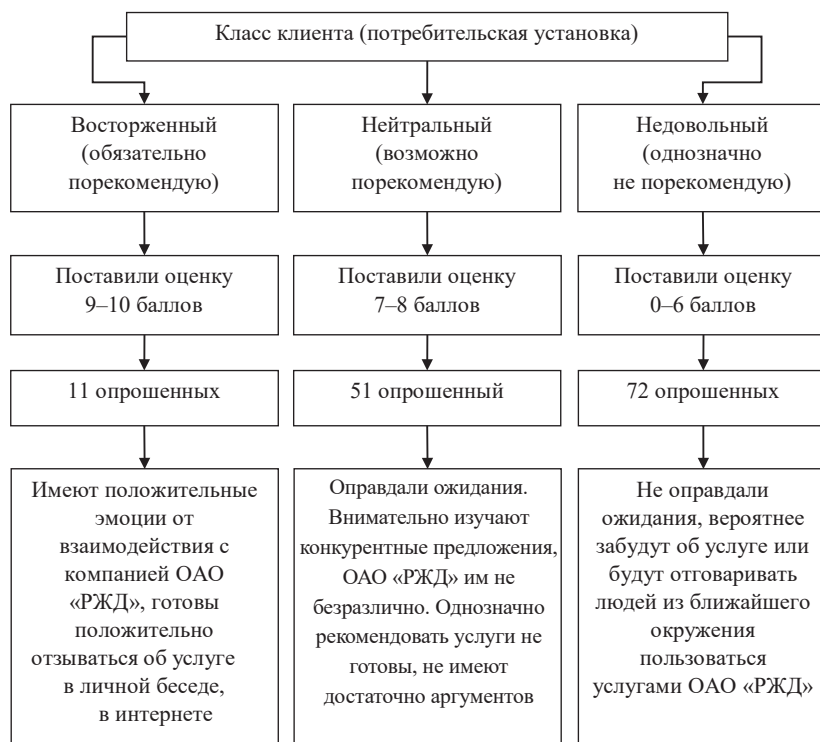


Рис. 4. Оценка лояльности клиентов ОАО «РЖД», воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс» (составлено автором на основе опроса [3]).

можно рассчитать количество договоров грузоперевозки, оплаченных одним клиентом (частное от деления количества заключённых договоров грузоперевозки к общей численности всех клиентов в расчётном периоде, чел.) [3].

Интерпретация результатов опроса

Наиболее распространённым индикатором в практике маркетинговых исследований является индекс лояльности клиентов (Net Promoter Score, NPS). Для его расчёта прово-

дится анкетирование, по итогам которого устанавливается, насколько клиенты компании готовы рекомендовать её своему ближайшему окружению [8–20].

Для целей оценки клиентами потенциальной значимости программ лояльности с использованием Google-формы в Глобальной сети проводился опрос среди грузоотправителей-физических лиц, осуществлявших перевозку сборных грузов с использованием сервиса «РЖД-Экспресс» в марте-апреле 2021 года.

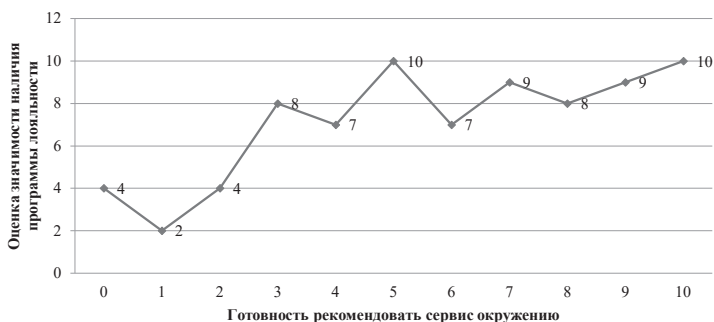


Рис. 5. Оценка значимости для потребителей наличия программы лояльности у ОАО «РЖД» (составлено автором на основе опроса).

Количество респондентов составило 134.

Анкетированным были заданы вопросы:

«1. Оцените с использованием десятибалльной шкалы степень Вашей готовности порекомендовать сервис «РЖД-Экспресс» друзьям и знакомым, где 0 – наименьшая вероятность рекомендации, а 10 – наибольшая;

2. Оцените с использованием десятибалльной шкалы, насколько повлияет наличие программы лояльности на Вашу приверженность бренду ОАО «РЖД», где 0 – не повлияет, 10 – заметно повлияет» [3].

Результаты анкетирования по первому вопросу представлены на рис. 3.

Как видно, ответы респондентов заметно отличаются. Респонденты по итогам поставленных оценок распределились на десять групп.

После получения балльной оценки клиентам присваивался один из трёх классов (рис. 4) [3].

Используя итоги анкетирования, мы определили [3] (с учётом приводимых ниже оговорок) индекс лояльности (NPS):

$$NPS = d_{\text{вк}} - d_{\text{нк}},$$

где « $d_{\text{вк}}$ – доля восторженных клиентов в общем числе клиентов, %;

$d_{\text{нк}}$ – доля недовольных клиентов в общем числе клиентов, %.

Таким образом, для услуги «РЖД-Экспресс» этот индекс будет составлять» [3]:

$$NPS = 8,2 \% - 53,7 \% = -45,5 \% [3].$$

Полученный результат по первому вопросу имеет отрицательное значение, но он не может быть использован для получения общей оценки удовлетворённости клиентов с учётом онлайн-формы проведения опроса и выборки респондентов на основе добровольного ответа на предложенные вопросы. Во-первых, выборка клиентов не была репрезентативной. Во-вторых, специфика проведения опросов на осно-

ве добровольной выборки, причём это в полной мере относится и к маркетинговым исследованиям в самых различных отраслях, предполагает риск непропорционально большой представленности лиц с устоявшимся мнением, как отрицательным, так и положительным. Этот вопрос выходит за рамки изучения данной статьи и представляет отдельный предмет для изучения^{1, 2}.

Вместе с тем, полученные данные, не будучи достаточными для достоверного расчёта индекса NPS, дают основу для оценки потенциальной привлекательности программ лояльности для различных классов респондентов.

Для этого на следующем этапе, на основе ответа на второй вопрос, была измерена степень значимости внутри каждой группы наличия программы лояльности для грузоотправителей-физических лиц по десятибалльной шкале (рис. 5).

На основе результатов опроса следует не только прямой вывод о сегментировании респондентов на три группы исходя из уровня их удовлетворённости услугой (причём, как видно, наиболее многочисленной оказалась группа неуверенных в своей готовности рекомендовать сервис людям из своего окружения), но и о наличии обширной аудитории потенциально близких к приверженности бренду клиентов. К ним можно отнести также респондентов с оценками 6–8 баллов, составляющих 41 % опрошенных. Опрос показал,

¹ См., напр.: Stephanie Glen. Voluntary Response Sample in Statistics: Definition. From StatisticsHowTo.com: Elementary Statistics for the rest of us! [Электронный ресурс]: <https://www.statisticshowto.com/voluntary-response-sample/>. Доступ 30.05.2021.

² См., напр.: Online Surveys: Data Collection Advantages & Disadvantages. [Электронный ресурс]: <https://www.cfrinc.net/cfrblog/online-surveys-advantages-disadvantages>. Доступ 30.05.2021.



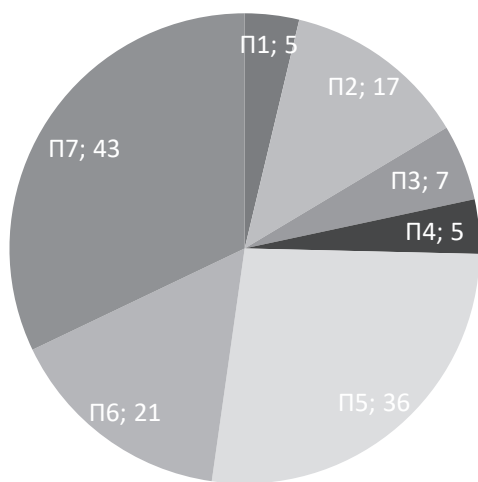


Рис. 6. Причины, повлиявшие на выбор физическими лицами сервиса «РЖД-Экспресс» (составлено автором на основе опроса).

что наличие программы лояльности мотивирует на развитие «долгосрочных отношений с компанией (средняя оценка значимости для этих групп находится на отметке восемь баллов)» [4], что подтверждает наличие у компании ОАО «РЖД» по этому направлению деятельности «резерва по наращиванию постоянной клиентской базы, в том числе посредством программы лояльности» [3].

Подходы к формированию программы лояльности

При разработке её положений целесообразно принимать во внимание аналогичные программы компаний-конкурентов по двум причинам:

1. С целью бенчмаркинга – использования лучших практик в целях повышения клиентоориентированности ОАО «РЖД».

2. С целью минимизации вероятности того, что в результате использования типовых маркетинговых инструментов сервис «РЖД-Экспресс» утратит свою уникальность, став для потребителя положенной услугой, наряду с продуктами конкурентов.

В основе программы лояльности должны находиться предпочтения самих клиентов, основанные на мотивах выбора услуги. Для их выявления респондентам был задан третий вопрос. Он заключался в указании причин заключения договора с компанией. Автором были предложены семь причин (П1–П7). Выбрать следовало одну, главную. Описательная характеристика причин представлена ниже:

1. Отсутствие альтернативы (П1) – грузоотправитель полагает, что у ОАО «РЖД» отсутствуют конкуренты. В такой ситуации нет необходимости не только разрабатывать программы лояльности потребителей, но и в принципе идентифицировать своих клиентов, поскольку позиция монополиста позволяет компании не беспокоиться об отношении потребителей.

2. Привычка (П2) – шаблонное поведение потребителя, которое не говорит ни о его удовлетворённости, ни о лояльности, соответственно, при наличии такого мотива не нужно рассчитывать на увеличение продаж.

3. Материальная экономия (П3) – предполагаемая клиентом выгода, которую он получает при обращении к услугам ОАО «РЖД», в таком случае клиент предполагает (субъективно или объективно), что услуги компании дешевле, чем аналогичные услуги у конкурентов.

4. Престиж (П4) – ощущение удовлетворения, гордости, собственной значимости при обращении в компанию ОАО «РЖД». В ситуациях, когда имеет место этот мотив, можно быть уверенным в повторном обращении клиента в компанию.

5. Доверие (П5) – уверенность в квалификации персонала, способного оказать услуги в требуемом качестве.

6. Случайность (П6) – «грузоотправитель обратился в компанию спонтанно (например, находясь в командировке, находясь в непосредственной близости от офиса компании и т.д.)» [4].

7. Качество услуги (П7) – в этот показатель могут входить «различные характеристики услуги: полезность, срок ожидания, комфортность и др.» [3]

На вопрос ответили указанные выше 134 респондента, воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс». Результаты (с учётом выше сделанных оговорок) представлены на рис. 6.

Ранее основные результаты были также опубликованы в [4]. В соответствии с ними, «наибольшее число респондентов в качестве основной причины, по которой они выбрали компанию ОАО «РЖД» в роли грузоперевозчика для транспортировки сборных грузов, считают качество (П7). Интересно отметить, что после оказания услуги многие из клиентов оказались неготовыми рекомендовать сервис своему ближайшему окружению, по причине не оправдавшихся в полной мере ожиданий.

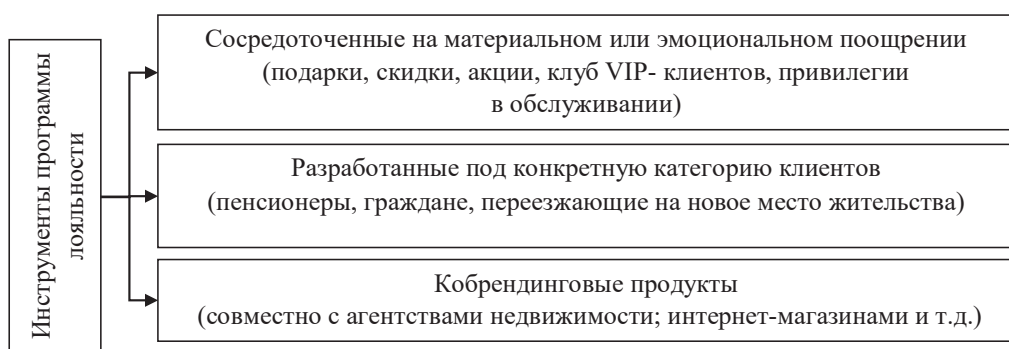


Рис. 7. Группы инструментов программы лояльности для грузоперевозчиков (составлено автором).

Эту причину следует принимать во внимание при разработке программы лояльности (более подробно об оценке качества услуги с позиции клиентоориентированности можно узнать из предыдущих публикаций [1–4] автора). На втором месте по популярности среди респондентов находится высокая квалификация персонала (П5). Использование этого факта для продуманной расстановки акцентов в программе лояльности неизменно будет способствовать расширению клиентской базы» [4].

Напомним также, что «помимо благоприятной, часть причин выбора имеют нейтральную окраску. Таким образом можно охарактеризовать осуществление выбора вследствие отсутствия у грузоотправителя (по его мнению) альтернативы (П1), привычки (П2), случайности (П6). Кроме того, детальному осмыслению нужно подвергнуть причины того, почему лишь незначительная доля анкетированных уверена в наличии материальной экономии при покупке сервиса (П3) и в его престиже (П4). Нивелировать влияние рисков или потенциально негативных фактов позволит инверсия потребительских установок за счёт инструментов программы лояльности» [4].

«Пять респондентов остановили свой выбор на услуге вследствие отсутствия альтернативы (П1), будучи убеждёнными в том, что у ОАО «РЖД» отсутствуют конкуренты. Следует иметь в виду, что подобный выбор может быть легко изменён под воздействием случайных факторов, например, агрессивной рекламы конкурентов. В то же время существование этой причины как мотива потребительского выбора, может быть использовано ОАО «РЖД» для укрепления долгосрочных связей с потребителем через инструменты

программы лояльности, путём поддержания у клиента представления о компании как о крупнейшем игроке рынка, способном (благодаря эффекту масштаба) предоставлять реальные, а не номинальные скидки широкому кругу клиентов» [4]. «Выбор 17 респондентов был сделан в силу привычки (П2), которая также свидетельствует об инертном отношении потребителя. Благодаря программе лояльности может быть создан положительный импульс, что трансформирует привычку в осознанную приверженность бренду, через накопление скидок, бонусов, членство в клубе привилегий и т.д.» [4].

«Риск для имиджа компании несёт также восприятие её ценовой политики клиентами как неконкурентной. Лишь семь опрошенных из 134 полагают, что, делая выбор в пользу «РЖД-Экспресс», экономят денежные средства (П3). Отличным инструментом может послужить программа лояльности, так как у потребителя за счёт бонусных баллов, скидок, акций формируется благоприятная установка относительно стоимости услуги» [4].

Типовые маркетинговые инструменты, которые могут быть положены в основу программы лояльности, можно объединить в три основные группы (рис. 7).

Общепринятой является категоризация клиентской аудитории с точки зрения финансового положения:

- высоко платёжеспособные (предпочитают покупку услуг по принципу «под ключ», поддержание статуса);
- низко платёжеспособные (предпочитают экономить на цене);
- клиенты со средней платёжеспособностью (предпочитают взвешивать материальные и нематериальные параметры).





ВЫВОДЫ

Рост выручки от продаж сервиса «РЖД-Экспресс» грузоотправителям-физическим лицам будет коррелировать с тем, насколько точечной будет настройка инструментов программы лояльности сообразно запросам клиентов. Перед масштабным внедрением программы в деятельность компании целесообразно диагностировать её эффективность на фокус-группах, а затем провести анализ и оценку результатов (согласно табл. 1) с целью корректировки состава маркетинговых инструментов. В долгосрочной перспективе положительным следствием использования программы лояльности может стать не только увеличение стоимостной составляющей, но и снижение чувствительности потребителей к повышению цен на услуги.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Юсупова О. А. Анализ качества обслуживания грузоотправителей-частных лиц // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 2 (87). – С. 214–224. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>.
2. Юсупова О. А. Анализ качества сайта грузоперевозчика с целью повышения лояльности клиентов-частных лиц // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 5 (90). – С. 140–151. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-140-151>.
3. Юсупова О. А. Методические аспекты анализа и оценки лояльности клиентов для повышения качества транспортного обслуживания грузоотправителей-частных лиц // ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика. – 2021. – № 4. – С. 141–153. DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2021-4-141-153>.
4. Юсупова О. А. О формировании программы лояльности транспортно-логистической компании // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 9. – С. 20–25. [Электронный доступ, платный]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46558192>.
5. Vilkaitė-Vaitonė, Neringa & Papšienė, Palmira. Influence of Customer Loyalty Program on Organizational Performance: a Case of Airline Industry. *Engineering Economics*, 2016, Vol. 27, Iss. 1, pp. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ee.27.1.10267>.
6. Hossain, M. Z., Kibria, H., Farhana, S. Do Customer Loyalty Programs Really Work in Airlines Business? – A Study on Air Berlin. *Journal of Service Science and Management*, 2017, Vol. 10, No. 4, pp. 360–375. DOI: <https://doi.org/10.4236/jssm.2017.104029>.

7. Kautsiro, F., Awolusi, O. D. Loyalty programs for the passenger transportation industry: a study of Zimbabwean Companies. *Journal of Education and Vocational Research*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 5–22. DOI: [https://doi.org/10.22610/jevr.v11i1\(V\).3068](https://doi.org/10.22610/jevr.v11i1(V).3068).

8. Qian, Ma; Jianwei, Huang; Tamer, Başar; Ji, Liu; Xudong, Chen. Reputation and Pricing Dynamics in Online Markets. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2021, Vol. 29, No. 2, pp. 949–963. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/2103.16100.pdf>. Доступ 10.09.2021.

9. Bundy, J., Iqbal, F., Pfarrer, M. Reputations in Flux: How a Firm Defends Its Multiple Reputations in Response to Different Violations. *Strategic Management Journal*, 2021, Vol. 42, No. 5, pp. 1–15. DOI: [10.1002/smj.3276](https://doi.org/10.1002/smj.3276).

10. El-Ansary, A., Pahnatier, R., Sivadas, E., Stern, E. Omni-Channel Strategy. *Marketing Channel Strategy*, 2019, Vol. 53, No. 7, pp. 345–362. DOI: [10.4324/9780429291999-11](https://doi.org/10.4324/9780429291999-11).

11. Korsakova, T. V., Chelnokova, E. A., Kaznacheva, S. N., Bicheva, I. B., Lazutina, A. L., Perova, T. V. Transformation of Corporate Culture in Conditions of Transition to Knowledge Economics. *International Journal of Environmental and Science Education*, 2016, Vol. 11, No. 11, pp. 4690–4698. [Электронный ресурс]: <http://www.ijese.net/makale/653.html>. Доступ 10.09.2021.

12. Megargel, A., Shankaraman, V., Reddy, S. K. Real-Time Inbound Marketing: A Use Case for Digital Banking. *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion*. Vol. 1: Cryptocurrency, FinTech, InsurTech, and Regulation. San Diego, CA: Academic Press, 2017, pp. 311–328. DOI: [10.1016/B978-0-12-810441-5.00013-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810441-5.00013-0).

13. Reichheld, F. The One Number you Need to Grow. *Harvard Business Review*, 2003, Vol. 81, Iss. 12, pp. 46–54, 124. [Электронный ресурс]: <https://hbr.org/2003/12/the-one-number-you-need-to-grow>. Доступ 10.09.2021.

14. Барнс Д. Г. Путь к сердцу клиента. Стратегия отношений, когда лояльности мало. – М.: Юрайт, 2009. – 242 с.

15. Ванзкен Б. Бренд-помощь / Пер. с англ. П. Малковой под ред. В. Домнина. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с. – (Серия «Маркетинг для профессионалов»).

16. Друкер П. Эффективное управление. Экономические задачи и оптимальные решения. – М.: Фаир-Пресс, 1998. – С. 126–132.

17. Дымшиц М. Н. Потребительская лояльность: механизмы повторной покупки. – М.: Вершина, 2007. – 200 с.

18. Коласс Б. Управление финансовой деятельностью предприятия: проблемы, концепции и методы / Пер. с франц.; под ред. Я. В. Соколова. – М.: Финансы: ЮНИТИ, 1997. – 576 с.

19. Скуба Р. В. Стратегии управления лояльностью и прибыльностью клиентов региональной коммерческой организации // Московский экономический журнал. – 2020. – № 7. – С. 46. DOI: [10.24411/2413-046X-2020-10504](https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10504).

20. Шонесси Дж. О. Конкурентный маркетинг: стратегический подход. – СПб.: Питер, 2001. – 864 с. ●

Информация об авторе:

Юсупова Ольга Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансы и кредит Российского университета транспорта, Москва, Россия, qwerty6020@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 05.07.2021, одобрена после рецензирования 12.09.2021, принята к публикации 15.10.2021.



Модель низкобюджетного пассажирского поезда дальнего следования



Павел Сергеевич Троицкий

*Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия.
✉ paveltroitskiy@mail.ru.*

Павел ТРОИЦКИЙ

АННОТАЦИЯ

Внедрение низкобюджетных пассажирских поездов дальнего следования улучшит доступность перевозок, расширит географию маршрутов, увеличит частоту отправок поездов, что в итоге будет способствовать росту пассажирооборота и доходов перевозчиков.

С точки зрения национальной экономики появление таких поездов будет содействовать повышению транспортной мобильности населения, выравниванию рынка трудовых ресурсов, туристической привлекательности страны и отдельных регионов, увеличению ВВП за счёт мультипликативных эффектов. В результате активной реализации мер государственной поддержки по развитию региональной авиации, строительству скоростных автомагистралей, внедрению сервисов совместного использования автомобилей в последние годы произошло существенное увеличение конкуренции на рынке дальних пассажирских перевозок.

Каждый сегмент этого рынка требует соответствия потребностям и ожиданиям определенного типа клиентов, отражающих возраст, образование, вид деятельности, доход, физическое состояние пассажира.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, low-cost перевозки, низкобюджетные перевозчики, железнодорожный пассажирский комплекс.

Конкурентоспособность того или иного вида перевозки в современном мире в первую очередь опирается на повсеместный рост ценности времени как значимого ресурса человеческой жизни и следовательно ценности скорости перемещения по всему маршруту следования (от двери до двери), так как продолжительность жизни помимо экстенсивных факторов (высокотехнологичное здравоохранение, здоровое питание и др.), формируется в том числе за счёт интенсивных, к которым, безусловно, относится экономия времени на передвижение.

Целью настоящей работы является описание бизнес-модели железнодорожного пассажирского low-cost-перевозчика в дальнем следовании, анализ факторов, формирующих модель – технических, технологических, организационных. Используются методы экономического анализа, наблюдения и сравнения. Сделан вывод, что одним из ключевых условий функционирования модели низкобюджетного пассажирского перевозчика в дальнем следовании является эксплуатация энергоэффективного, современного подвижного состава, гибкость и оперативность при формировании маршрутной сети, составности, периодичности курсирования low-cost поездов.

Для цитирования: Троицкий П. С. Модель низкобюджетного пассажирского поезда дальнего следования // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 45–49. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-5>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Стратегическим ориентиром железнодорожных пассажирских перевозчиков должны служить расширение продуктовой линейки, обеспечение мультимодальности и существенный рост маршрутной скорости перевозок. В наибольшей степени эти характеристики сейчас присущи автомобильному транспорту в силу его автономности, гибкости и распределённости в пространстве [1].

Вместе с тем поезда дальнего следования по сравнению с автомобильным и авиатранспортом имеют ряд неоспоримых преимуществ:

- безопасность перевозок;
- точность выполнения графика движения – более 98 %¹;
- более комфортные условия размещения пассажиров в салоне вагона;
- сочетание проезда с отдыхом в ночное время (поезд-отель);
- почти полная независимость перевозок от погодных условий [2];
- разветвлённая маршрутная сеть;
- бесплатная перевозка детей в возрасте до пяти лет;
- высокие нормы провоза ручной клади;
- расположение станций посадки и высадки в центре городов;
- экологичность железнодорожного транспорта [3].

Помимо этого, железнодорожное пассажирское сообщение имеет высокую социальную и стратегическую значимость, в том числе в регионах с экстремальными природно-климатическими условиями и отсутствующей дорожной и авиационной инфраструктурой [4].

Бизнес-модели российских железнодорожных перевозчиков ориентированы в основном на предоставление стандартного, устоявшегося в железнодорожной отрасли комплекса услуг перевозки. Так, структуру парка вагонов основного железнодорожного пассажирского перевозчика Российской Федерации в дальнем сообщении – АО «ФПК», составляют вагоны с преимущественно спальными местами, имеющими существенно большую себестоимость одного пассажирского места, эксплуатация которых на расстояниях от 200 до 600 км невыгодна, что приводит к потере пассажиров на коротких расстояниях в пользу автомобильного (автобусного) транспорта. По данным годового отчёта АО «ФПК» за 2020 год его вагонный парк состав-

лял 16596 единиц, из которых лишь 637 межобластных¹.

Отметим, что межвидовая транспортная конкуренция сама по себе не приводит в должной мере к росту эффективности деятельности каждого вида транспорта, поскольку в случае её нарастания зачастую встаёт вопрос о государственных дотациях для выравнивания условий осуществления перевозок (например, разницы в оплате услуг инфраструктуры) [5].

В этой связи представляется актуальным поиск новых продуктовых моделей, которые могли бы повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта в востребованных у потребителей сегментах рынка перевозок. Одним из них могут являться низкобюджетные перевозки в поездах дальнего следования. Подобный опыт широко используется в гражданской авиации, в настоящее время предпринимаются практические шаги в ряде стран по реализации подобных проектов и на железнодорожном транспорте.

Первый низкобюджетный авиарейс в мире был осуществлён американской авиакомпанией Pacific Southwest Airlines 6 мая 1947 года. За последние десять лет в мире появилось более 100 новых авиакомпаний, начавших полёты по технологии low-cost, в том числе происходила переориентация на данный сегмент многих классических авиакомпаний, а доля авиапассажиров, путешествующих лоукостерами, выросла с 13 % до 29 % в общемировом пассажиропотоке².

В железнодорожной отрасли бизнес-модель low-cost до последнего времени оставалась не слишком востребованной. Из наиболее ярких примеров железнодорожных low-cost-перевозчиков можно привести чешские Regio Jet³, Leo Express⁴, испанские высокоскоростные поезда Avlo национального оператора Renfe и проект Ouigo – дочернего оператора французской SNCF⁵. Последний случай подробно рассматривался исследователями [6]. Можно привести пример также реализуемой высокоскоростным пере-

¹ Годовой отчёт АО «ФПК» за 2020 год. [Электронный ресурс]: <https://fpc.ru/api/media/resources/1735779?action=download>. Доступ 15.10.2021.

² Что такое лоукост-авиаперевозчик? [Электронный ресурс]: <https://tripmydream.com/media/layfhak/loukost-perelety-vse-minusy-i-plyusy>. Доступ 15.10.2021.

³ См., напр., сайт компании Regiojet. [Электронный ресурс]: <https://www.regiojet.com/services/services-on-board-of-trains/low-cost.html>. Доступ 15.09.2021.

⁴ Железнодорожные перевозки – крупнейшие компании. [Электронный ресурс]: <https://www.oborudunion.ru/largest/jelezna-doroga-uslugi>. Доступ 15.10.2021.

⁵ Renfe запустил бюджетные поезда Avlo между Мадридом и Барселоной. [Электронный ресурс]: <https://zdmdira.com/news/renfe-zapustil-byudzhetye-poezda-avlo-mezhdu-madridom-i-barselonoy>. Доступ 15.10.2021.

возчиком Thalys программы низкобюджетных перевозок Izy (название созвучно английскому слову «просто», «доступно»)⁶. Относительно недавний анализ сложившихся практик и перспектив развития низкобюджетных железнодорожных перевозок в дальнейшем сообщении с акцентом на высокоскоростное сообщение представлен в исследовании компании Arthur D. Little⁷.

Особенность всех перечисленных поездов – составы с местами для сидения, максимально использующие внутривагонное пространство для размещения посадочных мест, тогда как нормы ручной клади, включённые в стоимость, позволяют провозить с собой не более 1 единицы багажа.

Учитывая перспективность данного вопроса, основной целью исследования является рассмотрение возможности и анализ параметров внедрения нового продуктового предложения – низкобюджетных пассажирских поездов дальнего следования на сети «РЖД». В работе использованы методы сравнительного и экономического анализа, контент-анализа технической информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ведущий специалист в области изучения экономической конкуренции Майкл Портер выделяет три стратегии формирования конкурентных преимуществ компании в зависимости от степени широты рынка:

- стратегия лидерства в издержках;
- стратегия дифференциации (создания продукта с уникальными характеристиками);
- стратегия фокусирования (получение конкурентного преимущества в узком сегменте рынка) [7].

На наш взгляд, предложение низкобюджетных пассажирских поездов должно сочетать преимущества всех трёх стратегий. Низкая себестоимость перевозки, фиксированный и чётко узнаваемый набор потребительских характеристик, ориентация на определённо очерченный сегмент пассажиров, а именно на пассажиров с минимальным количеством багажа, без запроса дополнительных услуг, основной целью которых является перемещение между пунктами отправ-

ления и назначения с минимальными финансовыми затратами при допустимых временных ограничениях, – вот отличительные особенности low-cost-поезда.

Формирование конкурентных преимуществ услуги перевозки на транспортном рынке происходит в результате взаимодействия элементов цепочки: перевозчик – владелец инфраструктуры.

Качество перевозочного процесса находится в зоне ответственности владельца инфраструктуры (в России – это ОАО «РЖД»), качество транспортного обслуживания – в зоне ответственности компании-перевозчика [8].

Сформируем группы факторов, из которых складывается бизнес-модель low-cost-перевозчика:

1. Группа технических факторов (ТЕХ): технические характеристики тягового и нетягового подвижного состава, интерьер вагонов, удельные энергозатраты на одно пассажироместо.

2. Группа технологических факторов (ТЕХН): время отправления и прибытия, маршрутная скорость поезда, расположение станций отправления и прибытия.

3. Группа организационных факторов (ОРГ): тарифообразование, производительность работы поездной бригады, дополнительный сервис на борту поезда.

Таким образом, целевая функция low-cost-перевозчика:

$ТЕХ + ТЕХН + ОРГ = \text{Себестоимость 1 пассажиро-места} \rightarrow \min.$

Технические факторы

К группе технических факторов относятся следующие мероприятия:

1. Применение вагонов повышенной пассажироместимости, в первую очередь двухэтажных вагонов с местами для сидения, а также капсульных вагонов [9].

2. Унификация вагонного парка low-cost-поездов – использование вагонов одного модельного ряда с единым цветографическим оформлением, внутренним оборудованием и дизайном для наиболее оперативной взаимозаменяемости подвижного состава в периоды проведения технического обслуживания, ремонта, внештатных ситуаций. Возраст парка вагонов low-cost-поездов не должен превышать 10 лет с целью минимизации затрат на ремонты.

3. Осуществление тяги двухсистемными и гибридными локомотивами с увеличенными межсервисными пробегами с целью снижения затрат на начально-конечные операции и не-

⁶ См., напр., информацию на сайте подразделения международных перевозок национальной железнодорожной компании Бельгии (SNCB International). [Электронный ресурс]: <https://www.b-europe.com/EN/Trains/IZY>. Доступ 15.09.2021.

⁷ Hensler, A., Zintel, M., Baron, R. The low-cost puzzle for long-haul trains. Arthur D. Little Luxembourg S. A. 2019. [Электронный ресурс]: https://www.adlittle.ru/sites/default/files/viewpoints/adl_low_cost_trains-min_0.pdf. Доступ 15.09.2021.



производительные простои на промежуточных станциях [10; 11]. Также возможна эксплуатация электропоездов, в том числе двухэтажных [12].

4. Применение энергосберегающего оборудования в тяговом и нетяговом подвижном составе: светодиодного освещения, систем автоматического индивидуального климат-контроля в купе, рекуперации и накопления энергии (электродинамическое торможение с повагонным аккумулярованием энергии, пьезоэлектрические межвагонные переходы и полы) [13].

5. Снижение коэффициента тары вагонов и тем самым массы поезда за счёт использования композитных материалов в кузовах вагонов, исключения тяжеловесного вагонного оборудования, в частности систем водяного отопления, генераторов.

6. Применение современных амортизирующих устройств, безззорных автосцепок, дисковых тормозных систем для снижения колебательных процессов и диссипации энергии во время движения состава [14].

Технологические факторы

Группа технологических факторов включает:

1. Повышение производительности работы вагонов за счёт минимизации времени простоя в пунктах формирования и оборота поездов. А именно: организация высокочастотных маршрутов с применением вагонов-трансформеров, эксплуатируемых в ночное время с местами для лежа, в дневное – в качестве сидячих вагонов.

2. Оптимизация маршрутной сети – ориентация на короткие и средние маршрутные расстояния с целью охвата наиболее густонаселённых регионов страны. Поскольку тарифы на перевозки в большинстве видов транспорта построены по принципу уменьшения удельной стоимости 1 пассажиро-км с увеличением дальности поездки, это делает нерентабельной эксплуатацию low-cost-поездов на дальних маршрутах ввиду изначально минимального базового тарифа. Поэтому дальность курсирования low-cost-поездов должна составлять не более 2000 км по территориям наиболее густонаселённых Центрального, Южного, Северо-Кавказского, Приволжского федеральных округов и Санкт-Петербургской агломерации.

3. Экономия затрат на вокзальной и инфраструктурной составляющей: начально-конечные операции на слабозагруженных пассажирских станциях (например, в московском регионе отправление и прибытие от/на станции Химки, Зеленоград, ТПУ «Восточный», Домо-

дово и др.). При этом по ходу движения поезда необходимо организовать осуществление остановок на всех крупных промежуточных станциях больших агломераций с целью максимального охвата пассажиропотока. Время отправления low-cost-поездов – вне основного потока поездов для получения наиболее дешёвой нитки графика [15, с. 129].

Организационные факторы

Группа организационных факторов представлена следующими мероприятиями:

1. Отказ от традиционных видов сервиса на борту. В первую очередь, отсутствие в составе low-cost-поездов вагонов-ресторанов, душевых кабин, различного рода инвентаря (многообразной посуды, санитарно-гигиенических наборов, постельного белья и др.), что ускорит и удешевит экипировку и уборку таких составов перед рейсом.

2. Максимальная дифференциация в тарифообразовании⁸. В частности, применение набора понижающих коэффициентов к базовому тарифу для верхних полок вагонов, дополнительно для верхних полок второго этажа двухэтажного вагона, для крайних купе, применение повышающего коэффициента для купе, расположенных в середине вагона. Для сидячих вагонов – платная возможность выбора места в вагоне. С целью сохранения гибкости в планировании маршрутной сети – открытие продажи билетов не ранее, чем за 90 суток до отправления. Широкомасштабное применение динамического ценообразования и практически стопроцентная продажа мест по невозвратным тарифам, реализация многоцветных проездных как на определённые маршруты, так и расстояния (например, до 300, до 600 км).

К дополнительно оплачиваемым опциям в low-cost-поездах могут относиться:

- оформление билета в бумажном виде;
- перевозка багажа сверх минимальной нормы;
- оформление изменения деталей билета и его возврата.

3. Повышенная производительность труда поездной бригады, обусловленная увеличением количества обслуживаемых вагонов одним проводником при минимальном наборе сервисных услуг в поезде.

4. Получение дополнительных доходов от продажи рекламных площадей в поездах, в том числе на бортах вагонов.

⁸ См., напр.: Матюшин Л. Н. Тарифная политика на железнодорожном транспорте России: Учебное пособие. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 208 с. ISBN 978-5-907206-80-9.

Отметим, что ряд мероприятий одной группы факторов могут продуцировать возможность осуществления мероприятий другой и наоборот. Например, при сокращении числа непроезводительных стоянок поезда, увеличении маршрутной скорости вследствие применения двухсистемных локомотивов возможно сокращение числа членов сопровождающей состав поездной бригады. Помощь в проверке проездных документов при посадке пассажиров на поезд могут оказывать сотрудники вокзала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопреки убеждению, что низкобюджетные железнодорожные пассажирские перевозки должны представлять собой составы из старых, готовящихся под списание вагонов, следующих по дополнительным ниткам графика с низкой маршрутной скоростью, для успешного функционирования low-cost-модели ключевыми параметрами являются гибкость и оперативность назначения и формирования таких поездов, эксплуатация составов из современных, энергоэффективных, низкотарных вагонов, требующих минимальных затрат на экипировку и техническое обслуживание.

С учётом фактора сезонности перевозок low-cost-поезда следует назначать лишь на высокозагруженных направлениях, имеющих потенциально постоянный спрос на перевозки. Подчеркнём, что ключевая услуга в low-cost-поезде заключается в перевозке пассажиров при минимальном наборе дополнительного сервиса, поэтому основным конкурентным преимуществом относительно иных видов транспорта будет являться сопоставимая маршрутная скорость проезда пассажиров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лапидус Б. М. Будущее транспорта. Мировые тренды с проекцией на Россию: Монография. – М.: Прометей, 2020. – 226 с. ISBN 978-5-907224-52-8.
2. Гашникова Е. Л. Методы формирования конкурентных преимуществ на рынке ремонта нетягового подвижного состава // Экономика железных дорог. – 2021. – № 5. – С. 65–71. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45764258>. Доступ 15.09.2021.
3. Пути улучшения экологических показателей железных дорог // Железные дороги мира. – 2020. – № 1. – С. 56–60. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565405>. Доступ 15.09.2021.
4. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы,

исторические тенденции и взгляд в будущее. – М.: Красанд, 2014. – 234 с. ISBN 978-5-396-00528-0.

5. Гурьев А. Из тупика: история одной реформы. – СПб.: РЖД-Партнёр, 2008. – 800 с. [Электронный ресурс]: <http://guryevandrey.narod.ru/artikals/Pages1.pdf>. Доступ 15.09.2021.

6. Delaplace, M., Dobruszkes, F. From low-cost airlines to low-cost high-speed trains: the French case. 18th ATRS World Conference (July 2014) at Bordeaux. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/264458977_From_low-cost_airlines_to_low-cost_high-speed_trains_the_French_case/link/53e07a2c0cf27a7b830a40e0/download. Доступ 15.09.2021.

7. Портер М. Е. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2015. – 600 с. ISBN 978-5-9614-6306-4.

8. Лапидус Б. М., Лапидус Л. Формирование бесшовной транспортной системы – новая парадигма открытого железнодорожного транспорта в условиях цифровой трансформации // Проблемы теории и практики управления. – 2018. – № 1. – С. 79–88. [Электронный ресурс]: <http://larisalapidus.ru/wp-content/uploads/2020/04/Statya-formirovanie-besshovnoj-transportnoj-sistemy.pdf>. Доступ 15.09.2021.

9. Троицкий П. С. Внедрение новейшей железнодорожной техники на основе межотраслевой кооперации // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18 (4). – С. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-188-198>.

10. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е. Вариантная оценка последствий передачи парка пассажирских локомотивов в ОАО «ФПК» // Актуальные проблемы экономики железнодорожного транспорта и пути их решения / Сборник трудов учёных ОАО «ВНИИЖТ» / Под ред. О. Ф. Мирошниченко. – М.: ВМГ-Принт, 2014. – С. 237–247.

11. Акишин А. А., Брексов В. В., Виноградова О. В., Кучумов В. А., Миронов Н. Д., Никифорова Н. Б. Оценка стоимости жизненного цикла электровагона «онлайн» // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2019. – № 78 (4). – С. 195–202. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-195-202>.

12. Научное сопровождение развития высокоскоростных магистралей в России / Колл. авторов; под ред. А. Б. Карсера, О. Н. Назарова. – М.: РАС, 2018. – 119 с. ISBN 978-5-6040530-6-5.

13. Гапанович В. А., Авилов В. Д., Аржаников Б. А. [и др.]. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов / Под ред. В. А. Гапановича. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 620 с. [Электронный ресурс]: http://www.rzd-expo.ru/innovation/resource_saving/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BE%D1%822.08.12.pdf. Доступ 15.09.2021.

14. Бороненко Ю. П., Комарова А. Н., Ромен Ю. С. Влияние колебаний вагонов на энергозатраты на тягу поезда // Бюллетень результатов научных исследований. – 2016. – № 1 (18). – С. 18–29. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kolebaniy-vagonov-na-energozatraty-na-tyagu-poezda>. Доступ 15.09.2021.

15. Шенфельд К. П., Сотников Е. А. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях. – М.: Научный мир, 2015. – 200 с. ISBN 978-5-91522-421-5. ●

Информация об авторе:

Троицкий Павел Сергеевич – технический эксперт научного центра «Цифровые модели перевозок и энергосбережение» (НЦ «ЦМПЭ») Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»), Москва, Россия, paveltroickiy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.05.2021, одобрена после рецензирования 15.09.2021, дополнена 22.10.2021, принята к публикации 25.10.2021.





Влияние транспортного комплекса на экономико-технологический потенциал территорий



Наталья Владимировна Гускина

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ n.guskina@yandex.ru

Наталья ГУСКИНА

АННОТАЦИЯ

Деятельность хозяйствующих субъектов, функционирующих на конкретной территории, во многом зависит от действия факторов транспортного характера с учётом сложившихся хозяйственных связей и ресурсного обеспечения территорий. При этом необходимо учитывать особенную роль в жизнеобеспечении территориального хозяйства, принадлежащую экономико-технологическому потенциалу, который, являясь индикатором её материальной основы, выступает также показателем успешности освоения материально-инновационной базы конкретной территории.

Вместе с тем существует определённый когнитивный пробел в области понимания влияния транспортной инфраструктуры на потенциальные возможности территории. Актуальным является продолжение исследований в целях теоретического осмысления такого влияния.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование влияния транспортного комплекса на деятельность хозяйствующих субъектов территорий с учётом экономико-технологического потенциала территории.

Использован комплексный подход и эмпирико-теоретический метод, которые позволяют провести исследование на основе совокупных характеристик деятельности транспортного комплекса, базируясь на открытых статистиче-

ских данных, и характеризовать его влияние на экономико-технологический потенциал территории.

В целях получения сопоставимых результатов в рамках единой национальной экономической и транспортной системы, что позволяет нивелировать влияние страновых факторов, были проанализированы основные показатели деятельности территориальных округов Российской Федерации, в том числе, масштабы развития транспортной системы, общая динамика протяжённости путей сообщения и роль инвестирования в деятельности транспортного комплекса.

Определены результаты и перспективы деятельности транспортного комплекса в рамках территориальных взаимодействий хозяйствующих субъектов.

Предложенный подход к анализу взаимосвязи экономико-технологического потенциала территорий и транспортных систем предлагается в качестве основы для последующих исследований, так как являясь в достаточной мере универсальным, может быть при условии дальнейшего развития и адаптации к соответствующим условиям быть декомпозирован или масштабирован, соответственно, к анализу меньших территориальных единиц или, наоборот, отдельных стран.

Ключевые слова: транспорт, экономико-технологический потенциал, территории, инновации, хозяйствующие субъекты, грузооборот, инвестиции, технологии.

Для цитирования: Гускина Н. В. Влияние транспортного комплекса на экономико-технологический потенциал территорий // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-6>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на множество публикаций¹ и глубокую проработанность вопросов регионально-го², территориального³, городского⁴ развития, в том числе в социальном, экономическом [1], научно-технологическом⁵ и транспортном контексте, в научной литературе отсутствует единый подход к определению сущности экономико-технологического потенциала территории и его взаимосвязи с транспортным комплексом.

В целом определение экономико-технологического потенциала территории может быть сформулировано как комплексная способность привлечения очевидных и латентных ресурсов к обеспечению субъектов и населения территории для увеличения продуктивности, ориентированной на получение полезностей, соответствующих спросу в текущий период времени. Следовательно, если «масштаб экономико-технологического потенциала определяется объёмом и качеством имеющихся у хозяйствующего субъекта ресурсов, а также способностью к эффективному их использованию» [2], то в случае территории нужно говорить об объёме и качестве, эффективности использования ресурсов совокупности хозяйствующих субъектов.

В своей более ранней работе автор уточнил элементарность экономико-технологического потенциала, который «характеризуется не только ресурсными возможностями, но и пространственной принадлежностью, заселённостью и качеством жизни населения, удалённостью от крупных мегаполисов, расположением в финансово-экономическом сегменте, транспортным

сообщением, а также уровнем производства и промышленности на территории» [3].

Но при проведении дальнейших теоретических исследований возникла необходимость рассмотреть все элементы экономико-технологического потенциала с привязкой к территориальной неоднородности и географическому распределению ресурсов, системе транспортных сообщений и связанным с этими комплексными факторами проблемам.

Целью представленного частного исследования является теоретическое обоснование влияния транспортного комплекса на деятельность хозяйствующих субъектов территорий с учётом экономико-технологического потенциала территории.

Использованы комплексный подход и эмпирико-теоретический метод, которые позволяют провести исследование на основе совокупных характеристик деятельности транспортного комплекса, базируясь на открытых статистических данных, и характеризовать его влияние на экономико-технологический потенциал территории. В целях нивелирования влияния факторов неоднородности социально-экономических условий в данном исследовании в качестве предмета выступают федеральные округа, субъекты Российской Федерации, транспортная система Российской Федерации и транспортные системы субъектов Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные показатели экономической деятельности федеральных округов Российской Федерации

Топографическая дифференциация Российской Федерации определяет смешанность экономического пространства, что влечёт за собой проблему устойчивого развития экономико-технологического потенциала территорий и разрозненность величины всех показателей прогрессивности одной агломерации по отношению к другой.

Используя данные Федеральной службы государственной статистики, такую разрозненность можно наблюдать благодаря агрегированному индексу промышленного производства между субъектами Российской Федерации по видам экономической деятельности, взятым в совокупности (табл. 1).

Динамика индекса промышленного производства достаточно разрознена и разрыв между некоторыми федеральными округами в январе 2021 года фактически достигал более 10 %. Тенденция увеличения показателей в том же временном периоде в Центральном федеральном округе в 2021 года относительно показателей 2019 года – 8,9 %.

¹ Приводимые ниже единичные примеры выделены только в качестве иллюстрации многоплановости существующих подходов из огромного массива научных, исследовательских публикаций, проектов и докладов.

² A selection of ENPI CBCMED Projects. People cooperating across borders. Mediterranean Stories, 2014. [Электронный ресурс]: http://www.enpicbmed.eu/sites/default/files/mediterranean_stories_economic_growth_and_territorial_development_0.pdf. Доступ 27.03.2021.

³ Iammarino, S., Rodríguez-Pose, A., Storper, M. Why Regional Development matters for Europe's Economic Future. Working Papers, A series of short papers on regional research and indicators produced by the Directorate-General for Regional and Urban Policy WP 07/2017. European Union, 2017. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/201707_regional_development_matters.pdf. Доступ 27.03.2021.

⁴ Investment for jobs and growth. Promoting development and good governance in EU regions and cities. Sixth report on economic, social and territorial cohesion. European Commission, 2014. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/cohesion6/6cr_en.pdf. Доступ 27.03.2021.

⁵ KIT – Knowledge, Innovation, Territory. [Электронный ресурс]: <https://www.espon.eu/kite>. Доступ 27.03.2021.



Таблица 1

Индекс промышленного производства к соответствующему месяцу 2019 года, %*

	2019	2020	к январю 2019	2021	к январю 2019
	январь	январь		январь	
Российская Федерация	102,7	101,2	-1,5	98,1	-4,6
Центральный федеральный округ	100,4	106,1	+5,7	109,3	+8,9
Северо-Западный федеральный округ	103,3	101,4	-1,9	99,5	-3,8
Южный федеральный округ	103,8	100,8	-3	103,3	-0,5
Приволжский федеральный округ	100,7	101,0	+0,3	100,1	-0,6
Уральский федеральный округ	108,1	103,4	-4,7	97,6	-10,5
Сибирский федеральный округ	104,8	95,8	-9	97,9	-6,9
Дальневосточный федеральный округ	97,9	102,0	+4,1	95,4	-2,5

*Индекс промышленного производства. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial?print=1. Доступ 27.03.2021.

При этом наблюдается общий спад в том же временном периоде в остальных федеральных округах, что ведёт к отрицательному влиянию на общий результат по Российской Федерации в январе 2021 года на 4,6 % меньше, чем в 2019 году.

Необходимо сделать важную оговорку, что показатели 2021 года по сравнению с 2019 годом не являются типичными в силу общего влияния пандемической ситуации, характерной практически для всех стран мира, и использованы для демонстрации в разнице динамики индекса промышленного производства федеральных округов.

Так, «объём ВВП России за 2020 г., по первой оценке, составил в текущих ценах 106 606,60 млрд рублей. Индекс физического объёма ВВП относительно 2019 г. составил 96,9 %. Индекс-дефлятор ВВП за 2020 г. по отношению к ценам 2019 г. составил 100,7 %»⁶.

Следует отметить, что снижение ВВП относительно 2019 года было ожидаемо и связано с уменьшением мирового спроса на энергоресурсы и введением ограничительных мер, связанных с пандемией.

Возможность сохранения стабильности преференциального положения Центрального федерального округа в данной системе показателей заключается в том, что он является центром кооперации и полюсом освоения инновационных технологий, что, конечно же, несёт за собой как экономические выгоды, так и определённые риски. Впрочем, именно в нём «в большей мере концентрируется производство товаров и услуг, стягивающее финансовые и трудовые ресурсы остальных территорий. Эти процессы приобретают всё большую устойчивость» [4], что при-

водит к снижению возможностей развития отдельных федеральных округов и эффективного использования их ресурсов.

Влияние транспортной системы на обеспечение связности территорий и реализацию экономико-технологического потенциала

Обеспечение устойчивого развития территориальных образований является центральной задачей современной политики Российской Федерации.

Особую роль здесь играет связанность территорий страны, которую «можно обеспечить посредством модернизации транспортного комплекса страны» [5]. При этом самым «распространённым способом анализа влияния инфраструктуры на экономическую динамику является аппарат производственных функций, при помощи которого непосредственным образом можно измерить отдачу выпуска от инфраструктурного капитала» [6], что приводит к необходимости постоянного анализа деятельности транспортного комплекса, а также актуализации реформирования транспортной инфраструктуры, направленной на поддержание жизнедеятельности хозяйствующих субъектов.

Процесс производства и потребления транспортной продукции неразделим во времени и пространстве и требует внедрения инноваций, которые в свою очередь существуют за счёт инвестиций – финансовых и интеллектуальных.

Экономико-технологический потенциал территории в данном контексте является результатом взаимосвязи производительных сил хозяйствующих субъектов и транспортных компаний.

Каждый хозяйствующий субъект стремится к извлечению «максимальной экономической выгоды, выраженной в прибыли за счёт предоставления продукта высокого качества по конкурентоспособным ценам» [7]. Немаловажное

⁶ О производстве и использовании валового внутреннего продукта (ВВП) за 2020 год. [Электронный ресурс]: https://gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d02/18.htm. Доступ 30.03.2021.

место при этом занимают транспортная инфраструктура и её влияние на все процессы сбалансированного развития экономики-технологического потенциала территории, так как она является гарантом обеспечения фундаментальных условий для успешного функционирования хозяйствующего субъекта.

Материально-техническая база, природное обеспечение, финансовые ресурсы и инвестиционные вливания, государственная поддержка, демографическая структура и возможность вовлечения активной части населения в хозяйственную деятельность территории, всё это относится к экономическому потенциалу. Одним из показателей оценки экономического потенциала территории является ВВП, так как он охватывает не только общие показатели деятельности хозяйствующего субъекта, но и особенно-сти отраслевой и территориальной структуры.

Наиболее определённые показатели экономического потенциала территории отражает валовой региональный продукт на единицу площади.

«Более половины (52,1 %) суммарного объёма ВРП, по оценке субъектов Российской Федерации, в 2020 году сформируют 10 субъектов Российской Федерации, а именно: г. Москва и г. Санкт-Петербург, Московская, Свердловская области, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и Ямало-Ненецкий автономный округ, Краснодарский и Красноярский края, Республика Татарстан и Республика Башкортостан»⁷.

По прогнозам Минэкономразвития России доля вышеуказанных хозяйствующих субъектов в суммарном объёме ВРП возрастёт на 0,2 % к 2023 году.

При этом следует отметить, что показатель валового регионального продукта учитывает только деятельность территориальных хозяйствующих субъектов, что влечёт разницу в значениях расходов, определённых на федеральном уровне.

Транспортное единство территорий как интегратор экономического роста

Особенность взаимодействия при оценке транспортной продукции в случаях, когда производство находится на одной территории, а потребление на другой, можно определить состоянием транспортной инфраструктуры, так как она, по существу, образует фундамент единого экономического пространства.

⁷ Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363743/. Доступ 30.03.2021.

Поскольку Российская Федерация имеет обширную территорию, то транспортная обеспеченность «характеризует развитие транспортной инфраструктуры наземных видов транспорта и может определяться как для каждого вида транспорта, так и для транспортного комплекса региона в целом» [8].

Одним из наиболее очевидных транспортных факторов, отражающих развитие транспортной инфраструктуры, является протяжённость путей сообщения, наглядно показывающая совершенствование транспортного комплекса, а также транспортную обеспеченность страны.

Протяжённость путей сообщения на конец 2019 года, по данным Федеральной службы государственной статистики, представлена в табл. 2.

Представленные статистические данные включают в себя протяжённость улиц, железнодорожные участки, находящиеся за пределами Российской Федерации, и магистралей нефтепродуктопроводов на территориях иностранных государств.

При этом следует отметить, что отрицательная динамика протяжённости нефтепроводов связана с обстоятельствами непреодолимой силы, такими как окончание запаса ресурсов на территории и высокая амортизация оборудования, так как основной фонд трубопроводов был построен более 20 лет назад. Нужно учитывать, что трубопроводная магистральная сеть изнашивается, а её замена требует больших капитальных вложений.

Динамика протяжённости внутренних водных путей связана с гидрологической обстановкой, и несмотря на то, что показатель отрицательный, он находится в пределах нормы.

Положительная динамика протяжённости и эксплуатации путей сообщения говорит об эффективности стратегических реформ и решений, принятых государством.

Эффективность транспортного сообщения влияет на экономии оборотных средств на территории страны, что ведёт к укреплению экономических связей между её федеральными округами и «подтверждает важность транспортного сектора в контексте экономического и социального развития» [9].

В рамках общей площади Российской Федерации объективно отразить деятельность и взаимозависимость хозяйствующих субъектов возможно с помощью статистических данных по грузообороту по видам транспорта (табл. 3).

Сравнительная динамика 2015–2019 годов показывает, что общий уровень грузооборота по видам транспорта вырос, это характеризуется увеличением дальности перевозок, улучшением качества дорог, повысившимся спросом на товары. Следовательно, совершенствование внутрен-





Таблица 2

Протяжённость путей сообщения по Российской Федерации
к концу 2019 года, тыс. км*

	2015	2016	2017	2018	2019	изменение показателя 2019 к 2015, +/-
Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования	86,3	86,4	86,5	86,6	87,0	+0,7
Протяжённость автомобильных дорог общего пользования	1 480,5	1 498,5	1 507,8	1 531,6	1 542,2	+61,7
Протяжённость газопроводов	177,7	179,3	179,8	179,3	181,8	+4,1
Протяжённость нефтепроводов	54,8	54,2	53,4	53,4	53,4	-1,4
Протяжённость нефтепродуктопроводов	19,3	16,6	17,3	17,1	16,8	-2,5
Протяжённость внутренних водных судоходных путей	101,7	101,5	101,5	101,5	101,6	-0,1

* Протяжённость путей сообщения по Российской Федерации. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>. Доступ 07.04.2021.

ней транспортной инфраструктуры обеспечивает возможность снижения затрат на поставку товаров даже в самые отдалённые точки страны. Введение в эксплуатацию новой техники, оптимизация текущих маршрутов помогают достичь наиболее высоких результатов. Новая материально-техническая база устанавливает (в том числе изменяет в результате модернизации) принадлежность предприятия к определённой отрасли и является наиболее значимой частью активов. Поэтому ещё одним ключевым элементом является технологический потенциал территорий, характеризующий развитие, в том числе, техники и технологий.

Инвестиции в транспортную инфраструктуру территорий

В условиях пространственной неоднородности территорий Российской Федерации перспективы развития большинства хозяйствующих субъектов зависят от доступа к различным ресурсам и инфраструктурам. При этом доступность транспортной сети крайне важна, но не может быть абсолютизирована. С одной стороны, наличие у хозяйствующих субъектов классической системы «спрос–предложение», реализуемой через доступ к транспортно-логистической сети, должно давать положительный эффект, с другой стороны, транспортная инфраструктура может иметь экономический эффект только при выполнении определённых требований: инвестирование, государственная поддержка и наличие институциональной среды» [10].

Технологические инновации упорядочивают и обновляют сектор промышленности, а также увеличивают возможности прогрессивной деятельности территорий, нейтрализуя при наличии оптимальных инфраструктурных и рыночных условий риски малоэффективного

использования ресурсов из-за удалённости от моноцентрических агломераций. Поэтому технологический потенциал территории зависит от образования стабильных цепочек взаимодействия субъектов рынка, а также от форм и видов производства. «При интенсивном типе экономики объём производимых благ увеличивается благодаря совершенствованию использования ресурсов на основе научно-технического прогресса, применения более эффективных средств труда, совершенных технологий и форм организации производства» [11].

В большинстве своём сильная экономика страны основывается на производстве высоко-технологичной продукции.

Согласно рейтингу Global Innovation Index Российская Федерация в 2020 году заняла 47 место по уровню конкурентоспособности инновационного развития среди других стран⁸, а в 2021 году – 45 место⁹. Данный показатель для страны не является парадоксальным, так, например в 2019 и 2018 годах страна занимала в рейтинге 46 место. В сравнении со странами, занявшими передовые позиции, основной проблемой Российской Федерации может являться более низкая инвестиционная и инновационная активность, в связи, с чем стоит уточнить, что одним из ключевых показателей развития новых технологий в любой стране является размер инвестиционных вложений в развитие и внедрение инноваций.

Развитие инноваций на транспорте имеет многомерное значение: и для реализации экономико-технологического потенциала отдель-

⁸ [Электронный ресурс]: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2020-intro4.pdf. Доступ 01.09.2021.

⁹ [Электронный ресурс]: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf. Доступ 21.09.2021.

Таблица 3

Грузооборот по видам транспорта, млрд т·км*

	2015	2016	2017	2018	2019	изменение показателя 2019 к 2015, +/-
Транспорт – всего	5 108	5 198	5 488	5 636	5 674	+566
в том числе:						
железнодорожный	2 306	2 344	2 493	2598	2602	+296
автомобильный	247	248	255	259	275	+28
трубопроводный	2 444	2 489	2 615	2668	2686	+242
в том числе:						
газопроводный	1 176	1 181	1 300	1336	1318	+142
нефтепроводный	1 226	1 262	1 265	1276	1318	+92
нефтепродуктопроводный	42	46	50	55	51	+9
морской	42	43	50	37	37	-5
внутренний водный	64	67	67	66	66	+2
воздушный	5,6	6,6	7,9	7,8	7,4	+1,8

* Грузооборот по видам транспорта. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>. Доступ 06.04.2021.

ной территории, и для развития транспорта как общенациональной высокотехнологичной отрасли, и в плане развития потенциала транспорта для обеспечения лучшей связанности территорий и, следовательно, реализации их потенциала [8–11].

Следовательно, инвестирование в развитие территориального образования «определяет долгосрочную динамику его экономического потенциала и уровня развития социальной сферы, в связи с этим, должно планироваться, анализироваться и регулироваться в рамках государственной и региональной инвестиционной политики, основанной на разработанной стратегии инвестиционного развития транспортной инфраструктуры» [8].

Следует отметить, что «современные тенденции дают основание ожидать скорейшего появления первой полностью автоматизированной системы общественного транспорта в масштабе города» [12]. Это подтверждает факт, что инновации в транспортной инфраструктуре поднимают уровень качества транспортных услуг и оптимизируют деятельность хозяйствующих субъектов, так как «стадия технологического развития региона влияет на те или иные виды производства товаров, например: сырьевые ресурсы, промежуточные продукты, товары конечного потребления, услуги и т.д.» [13].

Инновации транспортной инфраструктуры направлены на оптимальную интеграцию транспорта с экономикой территориального образования и позволяют развиваться хозяйствующим субъектам. Но именно способность «хозяйствующих субъектов наращивать и усиливать своё производство даёт им возможность устойчивой конкурентоспособности на рынке транспортных услуг» [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экономическая система конкретной территории представляет собой комплекс производственных отраслей, уровень развития которых упорядочивает деятельность хозяйствующих субъектов, что приводит к раскрытию возможностей экономического роста территории и устойчивой работе хозяйствующих субъектов, находящихся на ней, а также оказывает влияние на транспортную инфраструктуру территориального образования.

«В целом же характер развития транспортной инфраструктуры и её функциональные особенности в немалой степени определяются, исходя из специфических особенностей конкретного региона, а также степени взаимодействия и взаимосвязи с такими инфраструктурными элементами, как инженерная и социальная инфраструктура, IT-инфраструктура и иные» [15].

Соответственно анализ показателей, характеризующих влияние транспортного комплекса, становится константой для формирования прочных хозяйственных связей между территориальными субъектами.

Совокупный потенциал территорий страны, что со всей очевидностью показывает пример России, определяется как комплексная качественно-количественная возможность наличия всех видов ресурсов, аккумулированных на одной территории, а также возможность хозяйствующего субъекта территории использовать данные ресурсы для наиболее эффективного достижения поставленных задач на конкретный период времени.

Степень развитости внутритерриториальной транспортной инфраструктуры, а также национальной транспортной системы, обеспечивающей оптимальную связанность территорий,





способствует их эффективному включению в транспортно-логистические цепочки производства и реализации товаров и услуг, и в конечном счёте – реализации их экономико-технологического потенциала.

Предложенный теоретико-концептуальный подход может быть в дальнейшем реализован путём создания комплексной методологии оценки взаимовлияния транспортных, экономических и технологических факторов в рамках описанной модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Trofimova, N., Mamleeva, E., Sazykina, M., Shiryayeva, G. Territory production potential. SHS Web of Conferences, Vol. 94, 2021. Sustainable Development of Regions 2020 – XVI International Scientific and Practical Conference «State. Politics. Society». DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219401016>.
2. Шкурина Л. В., Маскаева Е. А., Сертакова Е. Н. Проблемы оценки экономико-технологического потенциала транспортной компании при реализации перевозок пассажиров в пригородном сообщении // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 4. – С. 62–64. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25081913>. Доступ 01.09.2021.
3. Гуськина Н. В. Теоретические основы структуры экономико-технологического потенциала территорий // Стратегическое развитие социально-экономических систем в регионе: инновационный подход: материалы VI международной научно-практической конференции: сборник статей и тезисов докладов, Владимир, 03 июня 2020 года. – Владимир: Издательско-полиграфическая компания «Транзит-ИКС», 2020. – С. 125–129. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42986868>. Доступ 01.09.2021.
4. Ускова Т. В. О потенциале развития российских территорий // Проблемы развития территории. – 2018. – № 5 (97). – С. 7–17. DOI 10.15838/ptd.2018.5.97.1.
5. Шкурина Л. В., Гуськина Н. В. Тренды транспортного комплекса, влияющие на развитие экономического потенциала территорий России // Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии: Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции, Москва, 18 марта 2020 года / Российский университет транспорта. – М.: Инфра-М, 2020. – С. 253–257. ISBN 978-5-16-016798-5. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45814088&selid=45814201>. Доступ 01.09.2021.
6. Исаев А. Г. Транспортная инфраструктура и экономический рост: пространственные эффекты // Пространственная экономика. – 2015. – № 3. – С. 57–73. DOI: 10.14530/se.2015.3.057-073.
7. Павлова А. Н., Шкурина Л. В. Планирование затрат в рамках оптимизации расходной базы транспортной компании в конкурентной среде // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой

науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 20–23 ноября 2019 года / Под общ. ред. Т. В. Шепитько. – М.: Издательство «Перо», 2020. – С. 170–171. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42959007>. Доступ 01.09.2021.

8. Шкурина Л. В., Воблова Т. В., Беряков С. Н. Теоретико-методологические основы финансирования транспортной инфраструктуры регионов // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 2 (103). – С. 381–383. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37238704>. Доступ 01.09.2021.

9. Vukic, L., Mikulić, D., Keček, D. The Impact of Transportation on the Croatian Economy: The Input–Output Approach. Economics, 2021, Vol. 9, Iss. 7, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/economics9010007>.

10. Okechukwu, E., Madonsela, N. S., Adedotun, A. The Effect of Transportation Infrastructure on Economic Development. Conference: Proceedings of the 2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Harare, Zimbabwe, December 7–10, 2020. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/349476934_The_Effect_of_Transportation_Infrastructure_on_Economic_Development. Доступ 06.10.2021.

11. Гулин К. А., Мазилев Е. А., Кузьмин И. В., Алферьев Д. А., Ермолов А. П. Научно-технологический потенциал территорий и его сравнительная оценка // Проблемы развития территории. – 2017. – № 1 (87). – С. 8–24. [Электронный ресурс]: <https://findpatent.ru/magazine/024/245263.html>. Доступ 01.09.2021.

12. Дудаков Д. С. Инновационное развитие систем общественного транспорта в контексте взаимодействия с городской средой // Архитектура и современные информационные технологии. – 2018. – № 1 (42). – С. 287–304. [Электронный ресурс]: https://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/PDF/21_dudakov.pdf. Доступ 01.09.2021.

13. Горбунов А. А. Региональное измерение политики развития транспортной инфраструктуры: зарубежный и отечественный опыт // Социально-гуманитарные знания. – 2018. – № 1. – С. 136–145. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnoe-izmerenie-politiki-razvitiya-transportnoy-infrastruktury-zarubezhnyy-i-otchestvennyy-opyt/pdf>. Доступ 01.09.2021.

14. Гуськина Н. В. Проблемы транспортных услуг в деятельности хозяйствующих субъектов // Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии, Москва, 21 апреля 2020 года / Институт экономики и финансов Российского университета транспорта (МИИТ). – Москва, 2021. – С. 81–84.

15. Платонов А. А. Факторы формирования транспортной инфраструктуры региона // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов II Национальной научно-практической конференции, Омск, 18–19 апреля 2019 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. – С. 236–241. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38256833>. Доступ 01.09.2021.

Информация об авторе:

Гуськина Наталья Владимировна – аспирант кафедры экономики, финансов и управления на транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, n.guskina@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.04.2021, дополнена 30.09.2021, одобрена после рецензирования 14.10.2021, принята к публикации 20.10.2021.



ГРУЗОВЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ 58

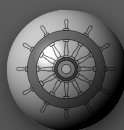
Макротренды, международный опыт и анализ диктуют 7 приоритетов развития, среди которых развитие тяжеловесного движения, контейнеризация, цифровизация, интеграция информационного логистического пространства, клиентоориентированность, рост высокомаржинальных перевозок, экологичность и энергоэффективность.



МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ 69

Три группы факторов, влияющих на их успешное развитие: организационные, технико-технологические и инфраструктурные. Переход на электронный документооборот и использование электронных средств мониторинга местонахождения груза.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ



АВТОПЕРЕВОЗКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ 75

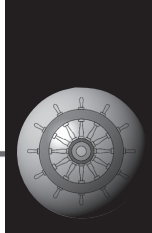
Участвовать в строительстве, чтобы потом лучше ездить: планирование работы автотранспортных предприятий, обеспечивающих подвоз материалов при строительстве автодорог.

ТРАНСПОРТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТУРИЗМА 83

Транспортная доступность курортов и связанность их между собой. Не только вопросы комфорта отдыхающих, но и экологические аспекты, не только авиация, но и водный транспорт.

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ: КЕЙС МОНОГОРОДОВ 91

Моногорода: общее и особенное в оптимизации транспортного обслуживания городским общественным транспортом общего пользования. Как объединить две параллельно действующих системы, чтобы добиться синергетического эффекта – не только финансового, но и в плане улучшения качества услуг для жителей.



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.225.04.001.76:656.078.8:004
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-7>

Инновационные и научно-технологические приоритеты грузового железнодорожного транспорта



Андрей ТУЛУПОВ



Алексей БЕЛОШИЦКИЙ



Егор ШИТОВ



Юлия ШИТОВА

*Андрей Викторович Тулунов¹, Алексей Валерьевич Белошицкий²,
Егор Александрович Шитов³, Юлия Александровна Шитова⁴*

¹ Центр инновационного развития – филиал ОАО «РЖД», Москва, Россия.

^{2, 3, 4} Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

✉ egor.shitov@digital.msu.ru.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено семь основных приоритетов развития грузового железнодорожного транспорта, формирующихся в условиях активной интенсификации циклов научно-технологического развития, повсеместной цифровизации бизнес-процессов и ростом конкуренции в транспортной отрасли. Одним из ключевых элементов увеличения привлекательности грузового железнодорожного транспорта является его инновационное и научно-технологическое развитие, особенно в части повышения клиентоориентированности. На сегодняшний день принципы клиентоориентированности в сфере железнодорожной транспортировки грузов являются одним из ключевых факторов конкурентоспособности железнодорожных перевозчиков.

Этот вопрос особо актуален и для Российской Федерации, которая обладает высоким потенциалом развития транзитного направления благодаря выгодному географическому положению. Данный факт обуславливает привлекательность железнодорожного транспорта для клиентов грузовых перевозок.

Образ будущего научно-технологического развития грузовых железнодорожных перевозок формируют такие направления, как развитие тяжеловесного движения и международных контейнерных перевозок, активное внедрение цифровых технологий для взаимодействия с клиентами и мониторинга состояния подвижного состава, предоставление услуг в едином транспортном и информационном пространстве, повышение маржинальности и экологической безопасности перевозок.

Одним из важнейших приоритетов является цифровая трансформация перевозочного процесса, важность которой связана с обеспечением безопасности перевозок, повышением пропускной способности железнодорожной сети и формированием комплексной системы обеспечения открытости данных для предоставления клиентам всей необходимой информации.

Другим приоритетным направлением является повышение экономической эффективности грузовых перевозок за счёт увеличения доли высокомаржинальных товаров. К таким товарам может относиться фармацевтическая и скоропортящаяся продукция, информационно-коммуникационная, электронная и радиоэлектронная продукция и др. Увеличение доли таких перевозок при снижении объёмов перевозки угля/нефти также положительно сказывается на внешнем облике железнодорожной компании для зарубежных инвесторов.

Образ будущего грузовых железнодорожных перевозок во многом зависит от различных внешних и внутренних факторов, реализуемых в отрасли. Кроме того, он зависит от формирующихся в мировой экономике макротрендов, обуславливающих определённый вектор развития железнодорожной отрасли.

В рамках исследования для достижения цели широко применялись качественные методы исследования и библиометрический анализ научной литературы, международных стратегических и программных документов отраслевого и корпоративного уровня.

Ключевые слова: грузовой железнодорожный транспорт, научно-технологические приоритеты, клиентоориентированность, цифровизация, развитие бизнес-модели.

Для цитирования: Тулунов А. В., Белошицкий А. В., Шитов Е. А., Шитова Ю. А. Инновационные и научно-технологические приоритеты грузового железнодорожного транспорта // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 58–68. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-7>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Грузовые перевозки являются одним из основных связующих элементов любой экономической системы [1], что предопределяет высокий уровень зависимости экономического развития любого государства от степени развития его транспортной системы. Высокая значимость грузовых перевозок определяется тем, что в случае невозможности их организации имеется риск остановки существующих хозяйственных отношений и незавершения текущих производственных процессов, что ведёт к потенциальному коллапсу экономической системы в целом [2].

Железнодорожный транспорт, в свою очередь, является одним из наиболее распространённых способов организации грузовых перевозок.

Например, в Российской Федерации железнодорожный транспорт является важным звеном в жизнеобеспечении многоотраслевой экономики и реализации социально-значимых услуг по перевозке пассажиров и грузов. Его доля в общей структуре грузооборота по состоянию на конец 2020 года составляла 47,12 %, опережая ближайшего конкурента (трубопроводный транспорт) на 1,39 п.п¹. В период глобальной пандемии COVID-19 железнодорожный транспорт укрепил своё положение в качестве одной из ключевых и системообразующих категорий транспорта [3].

В будущем ожидается увеличение спроса на грузовые железнодорожные перевозки: по прогнозам консалтинговой компании SCI Verkehr, мировой грузооборот в 2025 году составит 11,9 млрд т•км по сравнению с 10,4 млрд т•км в 2015 [4].

Ключевой целью данной научной работы является определение образа будущего грузовых железнодорожных перевозок с позиции их научно-технологического развития. При написании статьи авторами широко использовались *методы* библиометрического анализа: был проведён обзор как научной литературы, так и международных отраслевых документов и стратегических планов железнодорожных компаний, а также статистических данных. Использование качественных методов исследования позволило сформировать образ будущего развития грузовых же-

лезнодорожных перевозок в целом, а также место холдинга «РЖД» в нём.

РЕЗУЛЬТАТЫ

О приоритетах грузового железнодорожного транспорта

В большей степени дальнейшее освоение растущего спроса на грузовые перевозки зависит от развития комплексного обслуживания грузоотправителей и повышения качества грузовых перевозок. Данная повестка является особенно актуальной в эпоху глобальной цифровизации и ускорения научно-технологических циклов, когда активное развитие интеллектуальных систем автономного управления автомобильным транспортом и его электрификация в долгосрочной перспективе могут привести к вытеснению железнодорожных перевозок из отдельных сегментов транспортного рынка.

Сохранение конкурентных позиций на рынке транспортных услуг и освоение растущих грузопотоков во многом тесно связано с общим уровнем инновационного и научно-технологического развития железнодорожных компаний и их стратегическими приоритетами в этой области. В качестве наиболее значимых приоритетов инновационного и научно-технологического развития грузового железнодорожного транспорта можно выделить как направления, связанные с расширением и оптимизацией существующей бизнес-модели, так и развитием новых услуг по предоставлению грузовых мультимодальных перевозок.

Анализ позволяет включить в число этих приоритетов семь направлений.

1) Развитие тяжёловесных грузовых железнодорожных перевозок.

Одним из перспективных решений освоения растущего спроса на грузовые перевозки является организация выделенного тяжёловесного движения, что представляет значимый вызов для всей железнодорожной отрасли в силу ограниченности пропускной способности существующей железнодорожной сети и необходимости в значительных капиталовложениях для её увеличения. Актуальность развития тяжёловесного движения обуславливается, в том числе, тем, что железнодорожная отрасль остаётся одной из ключевых отраслей в сегменте перевозок насыпных грузов, энергоносителей, а также

¹ Грузооборот по видам транспорта по Российской Федерации. Росстат. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. Доступ 12.08.2021.





Таблица 1

Сопоставление характеристик тяжеловесных поездов

Компания-оператор (страна)	Эксплуатируемая (испытываемая) осевая нагрузка в перспективе до 2030 г., т	Количество вагонов, ед.
Aurizon (Австралия)	40	264
BNOR (Норвегия)	30	н/д
BNSF (США)	30	170
CNR (Канада)	36	106
CR (Китай)	30	210
IR (Индия)	25	120
LKAB (Швеция)	30	68
Rio Tinto (Австралия)	40	264
SSC (Китай)	25	н/д
SHR (Китай)	25	н/д
Transnet (ЮАР)	33	375
UP (США)	36	170
VALE (Бразилия)	37,5	330
Холдинг «РЖД» (Россия)	27	142

Источник: составлено авторами на основе материалов, представленных на официальных сайтах железнодорожных компаний, н/д – нет данных. (Aurizon // [Электронный ресурс]: <https://www.aurizon.com.au/>. Доступ 12.08.2021); BNOR // [Электронный ресурс]: <https://www.banenor.no/en/startpage1/>. Доступ 12.08.2021; BNSF // [Электронный ресурс]: <https://www.bnsf.com/>. Доступ 12.08.2021; CNR // [Электронный ресурс]: <https://www.cn.ca/en/>. Доступ 12.08.2021; CR // [Электронный ресурс]: <http://www.china-railway.com.cn/english/>. Доступ 12.08.2021; IR // [Электронный ресурс]: <https://indianrailways.gov.in/>. Доступ 12.08.2021; LKAB // [Электронный ресурс]: <https://www.lkab.com/en/>. Доступ 12.08.2021; Rio Tinto // [Электронный ресурс]: <https://www.riotinto.com/>. Доступ 12.08.2021; SSC // [Электронный ресурс]: <https://www.sscconsolidation.com/index.php>. Доступ 12.08.2021; SHR // [Электронный ресурс]: <http://www.csec.com/>. Доступ 12.08.2021; Transnet // [Электронный ресурс]: <https://www.transnet.net/Pages/Home.aspx>. Доступ 12.08.2021; UP // [Электронный ресурс]: <https://www.up.com/index.htm>. Доступ 12.08.2021; VALE // [Электронный ресурс]: <http://www.vale.com/en/pages/default.aspx>. Доступ 12.08.2021; Холдинг «РЖД» // [Электронный ресурс]: <https://www.rzd.ru/>. Доступ 12.08.2021).

прочих видов грузов. Совокупный рост спроса на услуги железнодорожных перевозок, включая услуги в области организации тяжеловесного движения, предопределяет необходимость повышения эффективности и безопасности грузовых железнодорожных перевозок.

Под грузовым тяжеловесным железнодорожным движением, согласно определению Международной ассоциации тяжеловесного движения, следует понимать такой тип грузовых перевозок, который соответствует как минимум двум из трёх следующих критериев²:

- регулярная или планируемая эксплуатация маршрутных либо сочленённых поездов массой не менее 5 тыс. т брутто;
- осуществление или планирование коммерческих грузовых перевозок при их объёме не менее 20 млн т брутто в год на линии протяжённостью не менее 150 км;
- регулярная или планируемая эксплуатация подвижного состава и пути с осевой нагрузкой 25 т или более².

² Устав Международной ассоциации тяжеловесного движения. Международная ассоциация тяжеловесного движения. [Электронный ресурс]: <https://ihha.net/bylaws-ihha>. Доступ 12.08.2021.

Для целей организации грузового тяжеловесного движения железнодорожные компании эксплуатируют подвижной состав повышенной массы и длины. Например, компания Transnet (ЮАР) в рамках своей производственной деятельности эксплуатирует поезда из 375 вагонов (общая длина около 4 км), что позволяет ей перевозить грузы совокупной массой более 23,5 тыс. т [5].

С точки зрения осевой нагрузки лидерами являются австралийские компании Rio Tinto и Aurizon: на отдельных маршрутах (например, в регионе Пилбара в рамках перевозки угля, Rio Tinto) осевая нагрузка вагонов достигает 40 т [6] (табл. 1).

Наибольшую распространённость линии для тяжеловесного движения получили у компании Transnet: доля выделенных линий для организации тяжеловесного движения составляет 6,9 % от общей протяжённости железнодорожной сети.

Наличие международных организаций как по тяжеловесному движению (ИННА), так и по железнодорожным перевозкам в целом (Международный союз железных дорог (МСЖД), Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) и так далее) способствует обмену

передовым опытом, лучшими практиками и технологиями между компаниями и железнодорожными администрациями, занимающимися организацией тяжеловесного движения. В рамках таких организаций сегодня сформировано общее видение относительно направлений будущего технологического развития компаний-операторов тяжеловесного движения, которое включает:

- совершенствование инфраструктуры для обеспечения соответствия новым эксплуатационным требованиям;
- внедрение технических решений для организации движения тяжеловесных поездов, включая различные интеллектуальные системы вождения, дистанционного и автоматизированного управления движением поездов;
- создание инновационного тягового подвижного состава для вождения тяжеловесных поездов;
- создание и внедрение вагонов повышенной грузоподъемности, увеличение нагрузки на ось подвижного состава и пути (более 25 т);
- устранение «узких мест» инфраструктуры и инвестирование в увеличение пропускной способности железнодорожных линий, приведение в соответствие существующих подъездных путей и путей на станциях, в терминалах (портах);
- усовершенствование систем энергоснабжения [7].

2) Развитие международных контейнерных перевозок.

Основой современных интер- и мультимодальных грузовых перевозок является использование контейнеров международного стандарта ISO. Процесс контейнеризации, получивший развитие в середине прошлого века, оказал революционное воздействие сначала на морской транспорт, а затем на весь глобальный рынок перевозок. Внедрение контейнеров позволило сократить время доставки грузов, упростить и ускорить погрузочно-разгрузочные операции, повысить сохранность грузов, а также снизить затраты на оплату труда. В соответствии с прогнозами маркетингового агентства Fortune Business Insights развитие рынка контейнерных перевозок в течение 2018–2026 годов будет характеризоваться высокими темпами роста: по итогам 2026 года мировой объем рассматри-

ваемого рынка увеличится вдвое и достигнет 1,1 млн ед. [8].

Данное направление развития железнодорожных грузоперевозок является весьма перспективным в условиях роста международных транзитных перевозок, осуществляемых контейнерно-контрейлерным способом.

Данный вид перевозок показывает активный рост в Российской Федерации в течение нескольких лет: например, в 2020 году объем контейнерных перевозок составил 5,81 млн ДФЭ (TEU), увеличившись на 16,5 % по сравнению с 2019 годом [9]. В ближайшие годы рост продолжится, поскольку уровень контейнеризации в России всё ещё остаётся достаточно низким, а внешние макроэкономические факторы сигнализируют о росте спроса на транзитные контейнерные перевозки по маршруту «Европа–Китай» через Россию.

Стоимость железнодорожных перевозок менее волатильна по сравнению с морскими, резкий рост цен на морские контейнерные перевозки во время пандемии COVID-19 создал благоприятные условия для развития транзитных контейнерных железнодорожных грузоперевозок через Россию. Данный факт во многом связан с введением эпидемических ограничений в морских портах, что позволило железнодорожным перевозкам укрепить свои конкурентные позиции за счёт стабильности по срокам и доступности доставки грузов, в том числе за счёт увеличения скорости перевозок [10]. Указанные факторы позволили повысить конкурентоспособность железнодорожной отрасли на рынке транспортных грузопотоков между ЕС и Китаем по сравнению с другими видами транспорта, в том числе с морскими перевозками. Так, средний срок доставки грузов с Востока на Запад при использовании морского транспорта составляет 40 дней, а железнодорожным сообщением данную перевозку можно осуществить за 20 дней [11].

Организация контейнерных перевозок является неотъемлемой частью развития железнодорожного сообщения стран ЕС: около 30 % от общего объема грузооборота составляют контейнерные перевозки [12]. Основные потоки грузов проходят по нескольким транспортным коридорам, где сосредоточены ключевые терминалы и логистические центры. Развитию контейнерных перевозок в странах Евросоюза во многом способствует ужесточение законодательных норм, включая требования к безопасности автодвижения



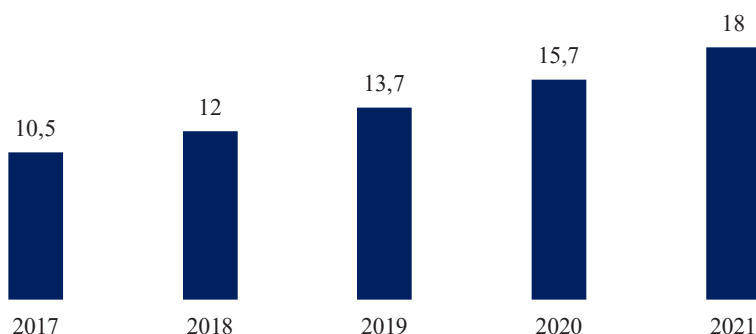


Рис. 1. Динамика рынка интеллектуальных технологий в железнодорожной отрасли, млрд долл. США [15].

(ограничение времени нахождения водителя за рулём), к экологии и природоохранной деятельности (ограничения на движение в ночное время, выходные и праздничные дни, в туристических и рекреационных зонах).

К наиболее популярным действующим в ЕС маршрутам контейнерных перевозок относится маршрут Галларате (Италия) – Мехелен (Бельгия)³, перевозки по которому уже в первые годы работы показали позитивные результаты, а именно:

- снижение транспортных издержек компаний-перевозчиков на 17 %;
- снижение вредных выбросов в атмосферу на 20 %;
- совокупная экономия топлива всех участвовавших в перевозках компаний за год составила 2,5 млн л [13].

Холдинг «РЖД» в течение последних нескольких лет проводит активную политику в области повышения клиентоориентированности и развития новых сервисов по доставке грузов, в том числе в рамках контейнерных перевозок. Холдинг «РЖД» активно развивает международное направление деятельности, в частности по диверсификации маршрутов контейнерных перевозок по направлениям «Восток–Запад» и «Север–Юг». В рамках первого направления был запущен сервис по доставке грузов из Финляндии в Южную Корею, в рамках второго осуществляются контейнерные перевозки из Индии в Россию. Также активно развиваются перевозки с использованием цифровых технологий. В сентябре 2020 года была осуществлена первая транзитная интермодальная перевозка контейнеров из

Китая в Европу, полностью сопровождавшаяся в цифровом формате [11].

В будущем развитие контейнерных перевозок будет направлено на совершенствование типов используемых контейнеров, развитие инструментов прогнозирования спроса и создание автоматизированных платформ по составлению всей документации (в том числе транзитной и таможенной). Это предоставляет дополнительные возможности железнодорожному сектору для повышения своей конкурентоспособности и укрепления позиций в непрерывной глобальной транспортной цепи, образованию которой способствуют интермодальные перевозки.

3) Цифровая трансформация грузовых перевозок.

Цифровая трансформация является одним из наиболее перспективных направлений развития грузового железнодорожного транспорта, о чём свидетельствуют результаты опроса ИННА [14]. На современном этапе развития железнодорожная отрасль перешла в стадию глубокой цифровой трансформации, связанной с развитием новых цифровых технологий.

В условиях конкуренции с другими видами транспорта, в частности с авиа- и автомобильными грузовыми перевозчиками, железнодорожные компании стремятся гарантировать сохранение конкурентоспособности за счёт внедрения эффективных цифровых решений и интеллектуальных технологий. Уже несколько лет назад ожидалось [15], что мировой рынок интеллектуальных технологий для железнодорожной отрасли вырастет с 10,5 млрд долл. США в 2017 году до 18 млрд долл. США к концу 2021 года при среднегодовом темпе роста 14,4 % (см. рис. 1).

Цифровизация бизнес-процессов является одним из наиболее актуальных в настоящее

³ См., напр., <https://ambrogiointermodal.com/en/ambrogio-intermodal-network/>.

время стратегических приоритетов развития железнодорожных компаний и продолжит оставаться такой в долгосрочном периоде, что обусловлено высокой значимостью, преимуществами цифровой трансформации и возможностями, которые она открывает для транспорта. Применение цифровых решений наблюдается в самых различных аспектах грузовых перевозок в целях оптимизации операций и повышения производительности, в том числе путём внедрения:

- автоматизированных систем управления подвижным составом и перевозочным процессом в целом;
- интеллектуальных систем контроля технического состояния подвижного состава и объектов инфраструктуры на основе предиктивной аналитики;
- систем отслеживания геолокации и контроля состояния грузов в режиме реального времени, в том числе для клиентов.

Например, китайская компания China Railway, выделяя цифровое развитие в качестве ключевого долгосрочного технологического ориентира, осуществляет внедрение цифровых технологий в такие процессы, как техническое обслуживание подвижного состава, функционирование информационных платформ, прогнозирование спроса и прочее [16].

Цифровая трансформация также отмечается в качестве ключевого приоритета в развитии немецкого железнодорожного оператора Deutsche Bahn в рамках программы «Цифровая железная дорога». Преимущественно цифровизация будет происходить за счёт внедрения автоматизированных систем управления подвижным составом, технологий цифрового планирования и аналогичных им, что позволит повысить пропускную способность железнодорожной сети на 20 % в прогнозируемом периоде для освоения растущих грузопотоков [17].

Современные векторы развития цифровых решений для железнодорожных грузовых перевозок направлены на формирование комплексной системы обеспечения открытости данных, а также безопасности подвижного состава и объектов инфраструктуры. Прорывные технологии позволяют сформировать единую интегрированную сеть контроля состояния железнодорожных перевозок и обеспечения клиентов необходимой информацией.

4) Развитие транспортно-логистических систем в едином транспортном и информационном пространстве.

Формирование конкурентного рынка транспортных услуг, централизация управления перевозочным процессом, различия в уровне развития технологий и мощностей отдельных предприятий транспортного комплекса и другие факторы определяют снижение точности и обоснованности оперативных решений участниками транспортного рынка. В этих условиях важным приоритетом развития грузовых железнодорожных перевозок является создание единого транспортного и информационного пространства – информационной среды коллективного доступа.

В данном аспекте наиболее релевантным подходом является организация интер- и мультимодальных грузовых перевозок, являющихся комбинацией видов транспорта для перевозки партии груза в рамках одного договора с провайдером, обеспечивающим «подключение» необходимых транспортных средств в процессе транспортировки. Интер- и мультимодальные перевозки приобретают особое значение в условиях углубления региональной интеграции и развития международных цепочек поставок, что позволяет воспринимать их развитие в качестве мегатренда для транспортно-логистической системы [18]. Более того, интер- и мультимодальные перевозки удешевляют (как для потребителя, так и для перевозчика) доставку груза за счёт избегания негативных факторов географической среды и более гибкого реагирования на изменения спроса [19].

Решения в области интер- и мультимодальности создают запрос на развитие системного подхода к формированию информационного пространства для грузоперевозок, которое трансформируется за счёт объединения существующих информационных систем в единую интеллектуальную технологическую платформу. Данный процесс позволяет перейти к комплексному управлению деятельностью железнодорожной компании, способствует улучшению качества предоставляемых услуг, позволяет активно развивать интер- и мультимодальные перевозки и улучшает эффективность бизнеса в целом.

В качестве примера можно привести проект InteGRail, который был профинансирован Европейской комиссией и выполнен под руководством Ассоциации европейской желез-



нодородной промышленности (UNIFE) [20]. Проект InteGRail был направлен на создание целостной и согласованной информационной системы, объединяющей основные железнодорожные подсистемы, для достижения более высоких уровней производительности железнодорожной системы с точки зрения пропускной способности, средней скорости и пунктуальности, безопасности и оптимального использования ресурсов.

Результатом проекта стало обеспечение прозрачного доступа к существующим информационным системам железнодорожного транспорта, а также совершенствование методов анализа больших данных в масштабе европейской железнодорожной сети. Появление новых методов работы с большими данными, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, позволяют предоставлять наиболее актуальную информацию пользователям, что даёт возможность развивать интеграционные процессы в рамках транспортных технологических платформ.

Развитие транспортно-логистических систем в едином транспортном и информационном пространстве тесно коррелирует с цифровизацией бизнес-процессов компаний, включая развитие электронного документооборота, систем внутреннего и внешнего контроля перевозочного процесса, систем взаимодействия с клиентами и прочее. Положительными последствиями такой трансформации железнодорожных компаний является формирование эффективных и принципиально новых для компании механизмов взаимодействия с потребителями услуг грузовых перевозок, а также повышение эффективности собственных операций за счёт развития обратной связи.

5) Повышение клиентоориентированности в сфере грузовых перевозок.

По данным Всемирного Банка, грузовые железнодорожные перевозки сталкиваются с жёсткой конкуренцией со стороны автомобильного транспорта. Ожидается, что данная тенденция в долгосрочной перспективе будет постепенно усиливаться и определяться внедрением новых прорывных транспортных решений, включая автономные грузовые электромобили и транспортные услуги по требованию [21].

Компании, оказывающие услуги в области авиа- и автомобильных перевозок, предлага-

ют своим клиентам гибкие и эффективные решения (например, услуги в области доставки на «последней миле»), продвинутые способы коммуникации в сочетании со специализированными программами лояльности. Наличие подобной возможности ведёт к усилению их позиций с точки зрения конкурентных преимуществ по сравнению с компаниями железнодорожной отрасли.

Например, на территории ЕС по состоянию на 2019 год автомобильный транспорт являлся лидером в области грузовых перевозок (76,3 %); на втором месте оказались железнодорожные перевозки (17,6 %), а перевозки внутренним водным транспортом заняли третье место с долей 6,1 % [22].

В свою очередь, в Северной Америке, соотношение между автомобильными и железнодорожными грузовыми перевозками в 2017 году составило 63,3 % и 15,3 % соответственно [23].

Сегодня многие крупные корпорации меняют свою организационную структуру в сторону горизонтального подхода, в рамках которого особое внимание уделяется вопросам оценки уровня удовлетворённости и лояльности клиентов. Традиционно принято считать, что железнодорожные компании относятся к одной из наиболее консервативных отраслей в области внедрения структурных изменений, особенно с учётом того факта, что в ряде стран железнодорожные компании являются естественными монополиями. Однако в условиях роста конкуренции с другими видами транспорта железнодорожные компании начинают в большей степени ориентироваться на индивидуальные потребности клиента.

Постоянное конкурентное давление со стороны авиационной и автомобильной отраслей стимулирует игроков железнодорожной отрасли разрабатывать и активно внедрять новые инструменты и решения для целей развития клиентоориентированного подхода [24].

В данном ключе особый интерес представляет опыт авиационных компаний, предоставляющих услуги в области грузовых перевозок. Авиационные перевозчики ориентированы на активное взаимодействие с потребителями: проводятся систематические исследования уровня удовлетворённости клиентов, на основе которых формируются рейтинги компаний. В качестве наиболее

широко используемых рейтингов авиакомпаний по уровню клиентоориентированности следует выделить:

- Net Promoter Score (NPS) – индекс потребительской лояльности;

- Airline Quality Rating (AQR) – «рейтинг качества авиакомпаний», формируемый на основе сбора данных о деятельности авиакомпаний в США [25];

- American Customer Satisfaction Index (ACSI) – американский индекс удовлетворённости клиентов, формируемый на основе результатов оценки степени удовлетворённости клиентов более чем по 400 компаниям в 46 отраслях и 10 секторах экономики, включая авиационный сектор;

- Routehappy – система, предоставляющая клиентам всю необходимую информацию для проведения самостоятельной оценки [26].

Обозначенные рейтинги и механизмы оценки используются преимущественно для пассажирского сегмента авиаперевозок, при этом отличаются проработанной системой учёта различных параметров и проведения расчётов.

Схожие механизмы получения обратной связи от клиентов видится возможным эффективно использовать и в сфере грузовых железнодорожных перевозок, предварительно отобрав базовые параметры и характеристики, влияющие на удовлетворённость клиентов именно в грузовом сегменте, для использования в качестве основных компонентов расчёта.

В условиях растущей конкуренции в сфере грузовых перевозок с другими видами транспорта, в первую очередь с авиационным и автомобильным, клиентоориентированный подход становится одним из основных условий успешного развития железнодорожных компаний на рынке логистических услуг. При формировании клиентоориентированного подхода железнодорожным компаниям важно учитывать как текущие запросы клиентов (предоставление услуг в области мультимодальных перевозок, открытость информации), так и будущие их потребности, которые будут меняться под влиянием изменений структуры общества, образа и условий жизни (рост мобильности и урбанизация), общественных ценностей (экологическое мышление).

Возможность в полной мере удовлетворить текущие и будущие запросы клиентов грузовых перевозок напрямую зависит от

уровня проработки специализированных программ лояльности и внедрения решений, оптимизирующих показатели, непосредственно влияющие на уровень клиентской удовлетворённости. Степень удовлетворённости клиентов зависит от ряда факторов, в первую очередь, от показателей операционной деятельности компаний, напрямую влияющих на такие параметры, как:

- пунктуальность (уровень задержек, время простоев);

- безопасность (техническое состояние подвижного состава и инфраструктуры, сохранность грузов, аварийность);

- качество обслуживания (цена услуг, наличие открытой коммуникации с клиентами, доступность информации).

Для оптимизации деятельности, ориентированной на достижение наилучших условий предоставления услуг грузовых перевозок, железнодорожные компании внедряют в производственные процессы различные технологические решения, позволяющие повысить операционную эффективность деятельности, а также автоматизировать ключевые процессы.

6) Повышение доли перевозок высокомаржинальных грузов.

Грузовой автомобильный транспорт характеризуется большей эффективностью с точки зрения фактических затрат, связанных с организацией грузовых перевозок на короткие расстояния, по сравнению с железнодорожным транспортом [27]. Грузовой автомобильный транспорт отличается более высоким уровнем гибкости, предоставляя услуги «от двери до двери» конечным получателям грузов. Экологические преимущества железнодорожного транспорта в данном случае нивелируются, так как на коротких дистанциях разница в объёмах выбросов незначительна.

Более высокая скорость перевозки на короткие дистанции автомобильным и на более длинные – воздушным транспортом обуславливает снижение конкурентоспособности грузовых железнодорожных перевозок в сегменте доставки высокомаржинальных грузов.

Дальнейший уход высокодоходных грузов на другие виды транспорта приведёт к низким темпам роста доходной базы при сохранении постоянных издержек, что является одной из угроз для железнодорожной отрасли [28]. Для



данной категории перевозок решающим фактором для клиента становится не стоимость транспортировки, а сохранность груза, скорость доставки, гибкость расписания, а также удобство и возможность доставки «от двери до двери».

Многие железнодорожные компании, в том числе холдинг «РЖД», ставят своей задачей расширение линейки специальных продуктов и услуг для привлечения высокодоходных грузов и транзитных грузопотоков [28].

К примеру, железнодорожная компания CNR (Канада) расширяет парк интеллектуальных грузовых вагонов-рефрижераторов, способных поддерживать заданную температуру на протяжении всей поездки, для освоения растущего спроса на перевозку скоропортящейся продукции и фармацевтических товаров. Кроме того, для обеспечения сохранности медицинских грузов с особыми условиями хранения компания применяет технологические решения в области пассивного поддержания температуры: для перемещения продуктов, хранящихся при экстремально низких температурах, используется охлаждение с помощью жидкого азота, для максимально эффективной реализации которого разрабатываются специальные контейнеры, включающие инновационные материалы для теплоизоляции и специализированные, адаптированные к экстремальным условиям системы мониторинга уровня жидкого азота.

Кроме того, важным фактором для клиентов, предъявляющих спрос на перевозки высокомаржинальных грузов, является скорость перевозки. В данном контексте особенно перспективным представляется развитие высокоскоростных железнодорожных грузоперевозок. На данный момент такие перевозки уже организованы в Италии между городами Казерта и Болонья, поезда преодолевают расстояние примерно в 600 км за 3,5 часа [29]. Также планы по развитию высокоскоростных грузоперевозок по железнодорожной сети есть у Китая [30] и холдинга «РЖД» [28], для которого развитие технологий скоростных перевозок контейнеров пакетированных грузов по высокоскоростным магистралям является одной из приоритетных стратегических задач.

Одним из приоритетов европейских железнодорожных компаний является организа-

ция комбинированных перевозок в части интеграции малогабаритных грузовых перевозок в пассажирские перевозки. Данное направление подразумевает включение в состав пассажирского поезда нескольких грузовых вагонов в целях повышения эффективности перевозок, снижения загрузки грузопотоков и прочее. Альтернативным решением может быть создание специализированных вагонов, которые были бы предназначены как для перевозки пассажиров, так и для перевозки малогабаритных грузов (например, оснащение пассажирских вагонов специализированными камерами хранения для перевозки мелких партий грузов).

7) Повышение экологической безопасности и энергетической эффективности.

Растущее внимание к состоянию окружающей среды и общей экологической повестке со стороны населения способствует изменению потребительского поведения, результатом которого является повышение спроса на железнодорожные перевозки, которые считаются более экологически чистыми, чем перевозки другими видами транспорта.

Повышение экологической безопасности, снижение объёма образуемых отходов и углеродного следа, в том числе, в целях создания условий устойчивого развития, является одним из наиболее актуальных приоритетов долгосрочного развития грузового железнодорожного транспорта. В долгосрочной перспективе развитие подвижного состава направлено на использование гибридных и полностью электрических тяговых приводов, а также альтернативных видов топлива, включая биотопливо, водородные топливные элементы, топливные элементы природно-газового цикла и возобновляемые источники энергии.

Другим важным приоритетом грузового железнодорожного транспорта является развитие принципов «круговой экономики»⁴. Необходимость перехода отрасли от линейной к циркулярной экономике отмечена в исследовании МСЖД «Глобальное видение железных дорог» [31]. В ходе реализации рассматриваемого приоритета планируется развитие технологий, позволяющих осуществлять более эффективную переработку производ-

⁴ Используются также термины циркулярная, цикличная, циклическая экономика, экономика замкнутого цикла: от английского circular economy. – *прим. ред.*

ственных отходов, которые будут повторно использоваться в железнодорожной отрасли или других сферах производства и позволят произвести переход к безотходной экономической системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день перед железнодорожным транспортом, учитывая его специфические особенности, стоит задача повышения эффективности грузоперевозок и уровня удовлетворённости клиентов.

Процесс технологической и цифровой трансформации железнодорожного транспорта способствует более быстрому внедрению решений для оптимизации показателей, влияющих на удовлетворённость клиентов качеством предоставляемых услуг. В то же время рост международной кооперации в части технологического развития обеспечивает обмен наилучшими доступными технологиями в сфере мониторинга состояния технических средств, хранения и обработки данных, предиктивной аналитики и построения эффективных каналов коммуникации. Внедрение подобных передовых технологий и технических решений в деятельность железнодорожной компании положительно влияет на её имидж на рынке, что особенно актуально в условиях роста конкуренции с другими видами транспорта.

С учётом рассмотренных приоритетов инновационного и научно-технологического развития железнодорожных компаний образ будущего грузового железнодорожного транспорта можно сформулировать следующим образом – активное развитие с высокой долей вероятности в будущем получают цифровые технологии, предоставляющие возможность создания единого информационного пространства для сопровождения и повышения прозрачности всех этапов транспортно-логистической деятельности, и подвижной состав на альтернативных источниках энергии для осуществления грузовых перевозок по неэлектрифицированным линиям без прямых выбросов CO₂.

Особое внимание железнодорожных компаний будет уделяться развитию тяжеловесного, в том числе за счёт повышения нагрузки на ось тягового подвижного состава и грузовых вагонов, и высокоскоростного грузового движения. Цифровые технологии

позволят трансформировать процесс управления загрузкой железнодорожной сети для оптимизации графиков движения поездов и повышения пунктуальности железнодорожных перевозок, в том числе, для организации доставки «от двери до двери».

Потребностью в сохранности груза, высокой скорости доставки и гибкости расписания, а также удобстве и возможности доставки «от двери до двери» определяется выбор клиентом транспортного средства для транспортировки груза. С целью поддержания положительной динамики роста доходной базы железнодорожных компаний необходимо, например, расширение парка интеллектуальных и высокоскоростных грузовых вагонов, а также организация комбинированных перевозок.

Приоритезация развития грузового железнодорожного транспорта является стратегическим решением, которое направлено на повышение конкурентоспособности железных дорог за счёт внутренних резервов развития при возрастающей роли внешних факторов. В долгосрочной перспективе это решение может обеспечить лидерство железнодорожной отрасли на рынке транспортно-логистических услуг.

В настоящей работе авторы дают общий взгляд на развитие железнодорожного грузового транспорта. Каждый из семи указанных приоритетов инновационного и научно-технологического развития может быть более пристально рассмотрен в отдельных статьях и являться центральной темой для более подробного изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Головатенко К. С. Анализ факторов внешней среды компании по грузоперевозкам // Наука без границ. – 2019. – № 12 (40). – С. 5–13. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41602626>. Доступ 12.08.2021.
2. Поваров Г. В., Селезнёва А. В. Роль транспорта в экономике России // Транспортное дело России. – 2015. – № 6. – С. 286–287. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476126>. Доступ 12.08.2021.
3. Воробьёва О. Т., Суворова С. Д. Рынок международных грузоперевозок: оценка влияния пандемии // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2020. – № 10-1 (68). – С. 49–52. DOI: 10.24411/2411-0450-2020-10764.
4. Rail Transport Markets – Global Market Trends 2016–2025 // Интернет-портал SCI Verkehr. [Электронный ресурс]: https://www.sci.de/fileadmin/user_upload/Flyer_Rail_Transport_Markets_eng.pdf. Доступ 12.08.2021.
5. Тяжеловесное движение в фокусе внимания Transnet // Железные дороги мира. – 2018. – № 2. – С. 36–38. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32327691>. Доступ 12.08.2021.





6. 40t Axle Load Ore Wagon for Australia. [Электронный ресурс]: <https://www.crrgc.cc/en/g5185/s13965/t264147.aspx>. Доступ 12.08.2021.
7. Семинар по вопросам международного железнодорожного транспортного права «Бернские дни» ОСЖД. [Электронный ресурс]: <https://osjd.org/ru/9197>. Доступ 12.08.2021.
8. ISO Container Market Size // Fortune Business Insights. [Электронный ресурс]: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/iso-container-market-101387>. Доступ 13.08.2021.
9. Итоги 2020 года // Интернет-портал FESCO. [Электронный ресурс]: <https://www.fesco.ru/ru/press-center/blog/itogi-2020-goda/>. Доступ 13.08.2021.
10. Обзор российского транспортного сектора в 2018 году // Международная компания KPMG. [Электронный ресурс]: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/05/ru-ru-transport-survey-052019.pdf>. Доступ 13.08.2021.
11. Рынок грузовых железнодорожных перевозок стран Пространства 1520 // Институт проблем естественных монополий. [Электронный ресурс]: http://ipem.ru/files/files/research/20201022_cargo_rail_market_at_gauge_1520_mm.pdf. Доступ 13.08.2021.
12. UIC. Combined transportation in Europe. [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/2018_report_on_combined_transport_in_europe.pdf. Доступ 13.08.2021.
13. Кузнецова А. И., Зубец А. Ж. Контейнерные перевозки: новые возможности в современных условиях // Транспортное дело России. – 2015. – № 2. – С. 59–61. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23660496>. Доступ 13.08.2021.
14. Defining the heavy-haul railway of the future // Mining Weekly. [Электронный ресурс]: https://www.miningweekly.com/article/defining-the-heavy-haul-railway-of-the-future-2019-06-07/rep_id:3650. Доступ 14.08.2021.
15. Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Castedo, L. Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways. Sensors, 2017, No. 17 (6), pp. 1457. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17061457>.
16. Railway 13th Five-Year Plan // China Railway. [Электронный ресурс]: http://www.china-railway.com.cn/english/about/corporateStrategy/201904/t20190409_93012.html. Доступ 14.08.2021.
17. The future of mobility lies in the tracks. [Электронный ресурс]: https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization_new/digitalrail-3625818. Доступ 14.08.2021.
18. Крауклиш А. А. Мультимодальность как мега-тренд мировой транспортной системы // Постсоветский материк. – 2020. – № 3 (27). – С. 78–85. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44629260>. Доступ 14.08.2021.
19. Фёдорова Т. Ю., Фёдорова Ю. Р. Мультимодальные грузовые перевозки // E-Scio. – 2020. – № 11 (50). – С. 371–376. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44452355>. Доступ 14.08.2021.
20. Project InteGRail // European Commission. [Электронный ресурс]: <https://trimis.ec.europa.eu/project/intelligent-integration-railway-systems#tab-results>. Доступ 15.08.2021.
21. The world is going digital – time for the rail industry to jump on board // World Bank Blogs. [Электронный ресурс]: <https://blogs.worldbank.org/transport/world-going-digital-time-rail-industry-jump-board>. Доступ 15.08.2021.
22. Freight transport statistics – modal split // Eurostat. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transport_statistics_-_modal_split. Доступ 15.08.2021.
23. Total Value and Modal Shares of U.S.-North American Freight Flows // Bureau of Transportation Statistics. [Электронный ресурс]: <https://www.bts.gov/content/table-1-total-value-and-modal-shares-us-north-american-freight-flows>. Доступ 16.08.2021.
24. Мамаев Э. А. Комплексность и клиентоориентированность транспортно-логистических услуг в цифровой экономике // Вестник РГЭУ РИНХ. – 2020. – № 4 (72). – С. 68–75. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44867309>. Доступ 16.08.2021.
25. Airline Quality Rating. 2020 Airline Rankings. [Электронный ресурс]: <https://airlinequalityrating.com/>. Доступ 16.08.2021.
26. Here are the Best Airline Ratings. They're not what you expect // Forbes. [Электронный ресурс]: <https://www.forbes.com/sites/christopherelliott/2019/04/07/what-are-the-best-airline-ratings/#15a698d515de>. Доступ 16.08.2021.
27. Train vs Truck Transportation – Efficiency, Cost, Advantages & Disadvantages [Infographic] // Интернет-портал Freightera. [Электронный ресурс]: <https://www.freightera.com/blog/train-vs-truck-transportation-efficiency-cost-advantages-disadvantages-infographic/>. Доступ 16.08.2021.
28. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) // ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=804>. Доступ 16.08.2021.
29. Mercitalia fast new high-speed freight service presented // МСЖД. [Электронный ресурс]: https://uic.org/com/enews/nr/621/article/mercitalia-fast-new-high-speed-freight-service-presented?page=modal_enews. Доступ 16.08.2021.
30. China planning high-speed rail freight network to help e-commerce sector // South China Morning Post. [Электронный ресурс]: <https://www.scmp.com/news/china/politics/article/3098444/china-planning-high-speed-rail-freight-network-help-e-commerce>. Доступ 16.08.2021.
31. A Global Vision for Railway Development // МСЖД. [Электронный ресурс]: https://uic.org/IMG/pdf/global_vision_for_railway_development.pdf. Доступ 16.08.2021. ●

Информация об авторах:

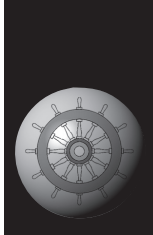
Тулупов Андрей Викторович – магистр по направлению «Техника и технологии», заместитель начальника Центра инновационного развития – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия, tulupovav@center.rzd.ru.

Белошицкий Алексей Валерьевич – магистр по направлению «Экономика», исполнительный директор Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, alex.v.beloshitskiy@gmail.com.

Шитов Егор Александрович – магистр по направлению «Менеджмент», руководитель направления консалтинга и экспертизы Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, egor.shitov@digital.msu.ru.

Шитова Юлия Александровна – магистр по направлению «Менеджмент», заместитель руководителя направления консалтинга и экспертизы Центра хранения и анализа больших данных Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, yuliya.shitova@digital.msu.ru.

Статья поступила в редакцию 03.09.2021, одобрена после рецензирования 15.10.2021, принята к публикации 22.10.2021.



Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему



Михаил ПОНОМАРЕВ



Надежда ФИЛИПОВА



Александр ВЕЛИКАНОВ



Александр НЕРЕТИН

*Михаил Львович Пономарев¹, Надежда Анатольевна Филиппова²,
Александр Юрьевич Великанов³, Александр Андреевич Неретин⁴*

¹ ООО «ИМЭКСПРОФИ», Москва, Россия.

^{2, 3, 4} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

✉ ² uten@bk.ru.

АННОТАЦИЯ

Оптимизация организации транспортно-технологического процесса в условиях цифровизации и технологического прогресса является в настоящее время актуальной задачей в силу значительного влияния на эффективность и конкурентоспособность транспортных предприятий.

В настоящее время развитие экономической среды требует значительной перестройки организационной работы транспортной отрасли. Эффективный транспортно-логистический процесс, основанный на внедрении цифровых технологий, позволяет сократить время, связанное с обработкой и доставкой груза, оформлением документации и т.д. Использование автоматизированных складских систем позволяет производить установку в помещениях с различной площадью: от крупнейших складов предприятия до компактного помещения.

Таким образом, создаются благоприятные условия для повышения привлекательности транспортной отрасли. Однако для полноценного использования информационных технологий необходим системный и научный подход к организации перевозок.

Учитывая тенденцию к росту международных контейнерных перевозок, расширению глобальных дистрибутивных

сетей, развитие систем регулярной перевозки и протяжённость маршрутов, что особенно актуально для России, вопрос контроля местоположения и текущего состояния груза становится важным условием повышения безопасности и качества перевозки.

Цель исследования заключалась в разработке системного подхода к организации транспортно-технологических процессов для мультимодальной транспортной системы на основе информационных технологий.

Рассмотрены организационные, технико-технологические и инфраструктурные факторы, в том числе связанные с переходом на электронный документооборот и использованием электронных средств мониторинга местонахождения груза. Предложена базовая систематизация наиболее перспективных из них.

Внедрение и использование инновационных и эффективных методов организации грузоперевозок позволят сократить время оформления груза, перевозимого в контейнере, прохождения контейнером контрольно-надзорных процедур.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, транспортная система, контейнер, информационные технологии, фактор, QR-код, WMS, датчики, ГЛОНАСС, GPS.

Для цитирования: Пономарев М. Л., Филиппова Н. А., Великанов А. Ю., Неретин А. А. Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-8>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях цифровизации и технологического прогресса оптимизация организации транспортно-технологического процесса в значительной мере влияет на эффективность и конкурентоспособность производства [1]. При этом для эффективного использования информационных технологий необходим системный и научный подход к организации перевозки с учётом всех технологических процессов [2]. Особенно этот вопрос актуален при рассмотрении международных мультимодальных перевозок, в первую очередь, контейнерных, при осуществлении которых вопросы контроля местоположения и состояния груза в режиме реального времени становятся важным условием для повышения безопасности и качества перевозки [3].

Данная проблематика представляет исключительную важность для российских условий, учитывая транзитный потенциал страны и протяжённость маршрутов. Вопросы повышения эффективности мультимодальных перевозок за счёт модернизации технологических процессов в равной мере относятся не только к вопросам обеспечения транзита грузов, но и к задачам развития транспортной системы в целом. На сегодняшний день транспорт является одной из самых быстро развивающихся отраслей в Российской Федерации, обеспечивающей прочные связи между различными сферами экономики страны. Эффективная работа транспорта обеспечивает полноту технологических и производственных процессов, без которых успешная организация работы предприятий практически в любой сфере деятельности становится невозможной.

Цель состоит в разработке системного подхода к организации транспортно-технологических процессов для мультимодальной транспортной системы на основе информационных технологий.

Разработка и осуществление единого транспортно-технологического процесса должна основываться на интеграции производства и транспорта. Это позволяет повысить качество перевозки и сократить затрачиваемые ресурсы.

На повышение качества перевозки оказывает влияние большое количество факторов. Внешние факторы, как правило, невозможно изменить, однако, если их учитывать, то можно спрогнозировать, контролировать и корректировать внутренние факторы.

Для определения наиболее значимых факторов был использован *метод* экспертной оценки. Суть метода заключается в анализе проблемы и присвоении количественной оценки тем суждениям, которые наиболее близки экспертам. Для получения значимого результата проводится обработка полученных количественных данных и обобщение мнения группы. Для организации экспертной оценки необходимо подобрать экспертов, провести опрос и обработать результаты.

От состава экспертов зависит достоверность оценок, поэтому подбор экспертов должен быть качественным, а количество экспертов должно составлять не менее десяти. Достоверность оценок зависит от квалификации экспертов и количества экспертов в группе.

Из множества видов опроса, таких как анкетирование, интервьюирование, метод Дельфи, мозговой штурм, дискуссия, был выбран самый распространённый *метод*, позволяющий получить конкретный результат – анкетирование.

Проведение опроса заключалось в заполнении экспертами (их число составило 38 человек) в письменной форме предложенной анкеты, в которой содержались вопросы по сути анализируемой проблемы. Анкета вместе с пояснительной запиской отправлялась экспертам. В пояснительную записку входило обращение к экспертам, объяснение цели опроса, инструкция по заполнению анкеты и прочие необходимые организационные сведения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод экспертной оценки показал, что основными факторами, влияющими на процесс перевозки, являются организационный, технико-технологический и инфраструктурный.

Организационный фактор

При формировании процесса перевозки организационный фактор является ключевым, так как в полной мере влияет на качество перевозочного процесса. Организационный фактор представляет собой совокупность принципов, правил, мероприятий, методов и решений, которые обеспечивают взаимосвязь работ и процессов в пространстве и времени. Качественная разработка организационного процесса и уровень его исполнения обеспечивают как сохранность, так и своевременность перевозки. Своевременная доставка груза является ключевой транспортной услугой, которую необходимо удовлетворить, для этого следует сократить

сроки доставки путём маршрутизации перевозок, один из способов – это формирование контейнерных поездов и перевозка их без перероботки в пути следования.

Информационное обеспечение предлагает получение следующих преимуществ:

1. Информация о заказе (статус, сроки доставки, сопроводительная документация).

2. Эффективное управление запасами, финансовыми и трудовыми ресурсами.

Ведущей технологией в организации мониторинга и управления транспортными средствами является навигационная система, которая позволит создать эффективную взаимосвязь между транспортным средством и центром управления. Внедрение таких информационных технологий в области перевозок позволит соответствовать мировым стандартам в области информационного обеспечения. Таким образом повысится привлекательность и конкурентоспособность транспортных предприятий, появится возможность прогнозирования потребностей рынка и дальнейшее создание условий для удовлетворения этих потребностей [4; 5].

Электронный документооборот в области перевозок грузов позволяет перевести всю существующую документацию, оформленную на бумаге, в цифровой формат и полностью отказаться от бумажных носителей в будущем. Для того, чтобы сократить время прохождения контейнером контрольно-надзорных процедур, на него необходимо установить QR-код. Это позволит сократить время доставки контейнеров на 1–2 суток.

Электронная транспортная накладная (далее – ЭТрН) положительно повлияет на эффективность и скорость обработки информации.

Использование ЭТрН при мультимодальных перевозках грузов позволяет получить следующие преимущества:

1. Доступность документов. Перемещение бумажных документов занимает определённое время, пока происходит передача документов в офис, из офиса готовят и отправят комплект документов заказчику и т.д. Документы, оформленные в электронном виде, доступны, тем самым ускоряется обмен информацией.

2. Удобное хранение. Физическое хранение массива документов, а также своевременное предоставление информации при проверке госорганами вызывает некоторые сложности, так как данные приходится искать среди бумажных архивов, что занимает неопределённое время. Благодаря цифровому формату время

поиска необходимой информации существенно снижается.

3. Мгновенное внесение изменений. Внесение необходимых изменений в документ сопровождается перемещением этого документа на подписи всем участникам перевозки. В случае изменения информации в ЭТрН все участники будут оповещены об этом [6].

Предварительное информирование таможенной службы о предстоящей отправке происходит в электронном виде через портал ФТС России. Непосредственно на таможенном посту (например, водителем, в случае перевозки автомобильным транспортом) передаётся идентификационный номер перевозки с помощью штрихкода. Вероятность ошибки при внесении 36 символов номера в программу высокая, это приводит к задержке груза. Для минимизации ошибки вследствие человеческого фактора лучшим решением будет использование QR-кода. Зашифрованная в нём информация имеет свой уникальный идентификационный номер перевозки, который считывается с помощью сканера.

Например, уже внедрённое применение QR-кода на железнодорожном транспорте для расчёта за представленные терминально-складские услуги позволяет клиенту быстро и безопасно совершать платежи. Код содержит в себе всю необходимую информацию: сумму, реквизиты. Использование данной системы доказало свою эффективность.

Недостатками внедрения системы QR-кодов являются дороговизна и сложность внедрения единой базы из-за большого разнообразия транспортных компаний.

Создание эффективного технологического процесса при мультимодальных перевозках грузов между портом и терминалом необходимо для ускорения прохождения груза через границу страны. Созданный таким образом единый таможенный коридор позволит сократить число досмотров контейнеров до минимального процента. Условия, при которых время прохождения контейнером таможенного пункта сократится, станут экономически привлекательными для развития контейнерного бизнеса. Сложности, связанные с оформлением таможенной документации, прохождением таможенного поста, непредсказуемостью сроков прохождения таможенного оформления, обработкой контейнера, негативно отражаются на развитии качества транспортных услуг.



Разработка и осуществление единого транспортно-технологического процесса должна основываться на интеграции производства и транспорта. Это позволит повысить качество перевозки и сократить затрачиваемые ресурсы. Разработанный на основе системного подхода алгоритм транспортно-технологического процесса создаст условия для грамотного построения перевозочного процесса при мультимодальных перевозках грузов, в котором взаимодействие всех участников и элементов перевозочного процесса согласованы [7; 8].

Технико-технологический фактор

Технико-технологический фактор представляет собой механизацию и автоматизацию производства, высокий уровень оснащённости рабочего места. Рост международной торговли приводит к увеличению товарообмена между странами, и возникает вопрос, как настроить рабочий процесс, чтобы он соответствовал требованиям рынка. Внедрение информационных технологий в производственный процесс повысит производительность труда и позволит рационально использовать ресурсы, возрастет качество работы и снизятся финансовые издержки [9; 10].

Увеличение товарооборота предлагает использование контейнеров как универсальной и вместительной тары. Контейнер легко использовать при организации международных мультимодальных перевозок (ММП), так как он легко сочетается с автомобильным, железнодорожным и морским транспортом. При использовании контейнеров расширяется перечень контейнеропригодных грузов, что приводит к увеличению их типоразмерного ряда, но появляется необходимость модернизации транспортных средств пригодных для их перевозки. Всё это приводит к необходимости развития контейнерного оборудования и технологий, соответствующих мировым производственно-транспортным системам.

Учитывая тенденцию роста потребности в международных контейнерных перевозках, расширение глобальных дистрибутивных сетей, развитие систем регулярной доставки, возникает вопрос контроля местоположения и текущего состояния груза. Это становится важным условием для повышения безопасности и качества мультимодальной перевозки грузов, привлекательности транспортной компании, удовлетворяющей этим условиям.

Уже имеются многочисленные разработки соответствующего оборудования, позволяющие осуществлять мониторинг указанных параметров в режиме реального времени. Следующие примеры показывают уже реализованные технологии.

Бортовой серийный регистратор (*далее – БСР*) оборудован средствами измерений (ГЛОНАСС/GPS приёмник, датчик удара и вибрации, термометр).

Другие системы позволяют контролировать местоположение сухих/рефрижераторных контейнеров и следить за физическим состоянием груза. Также такая система позволяет отследить изменения с момента закрытия и пломбирования груза до момента открытия двери.

Такого рода системы работают на программных платформах с веб-интерфейсом для спутникового мониторинга транспорта, который позволяет отслеживать путь груза и его физическое состояние с компьютера или мобильного устройства в режиме реального времени. Использование программной платформы позволяет хранить историю, формировать подробный отчёт о местоположении груза и фиксировать события за любой период. Чтобы не пропустить информацию, связанную с состоянием груза, программа позволяет настраивать СМС-уведомления и уведомления по электронной почте, что позволяет оперативно узнавать о событиях и своевременно реагировать на них.

Существуют автономные системы GPS-отслеживания и управления, используемые для контроля, мониторинга и отслеживания грузов. Такие устройства не требуют какой-либо установки и предоставляют важную информацию, включая местоположение, скорость, температуру, воздействие и количество освещения.

Индикатор удара – это одноразовое устройство, регистрирующее ударные воздействия (падения, столкновения, тряску) по всем осям. Крепится на упаковку с грузом, требующим бережного обращения.

Индикатор отметит сильный удар или падение груза, произойдёт визуальная фиксация события – будет видно, на каком этапе груз повреждён.

Установка датчиков на контейнер при мультимодальных перевозках грузов или непосредственно на груз позволит отслеживать местоположение, момент закрытия и открытия двери, освещённость, влажность и температуру внутри контейнера, фиксировать любые физические воздействия [11–13].

Существует множество конкурирующих на рынке систем различных производителей¹ (приведённые ссылки использованы исключительно для иллюстрации в качестве случайных примеров и без контактов с разработчиками для ознакомления с типами оборудования и не подразумевают каких-либо рекомендаций или предпочтений).

Для оптимального использования подвижного состава, определения и построения оптимального маршрута движения транспортных средств применяется автоматизированная навигационная система [14; 15].

Установка датчиков ГЛОНАСС или GPS в каждом транспортном средстве повысит качество перевозки за счёт соблюдения водителями маршрута движения, графика движения, скорости транспортного средства. Контроль режима труда и отдыха водителей повысит безопасность дорожного движения, снизит аварийность. Главная цель датчиков – определять точку пребывания предмета на Земле, вычисляя данные о широте, долготе, высоте. На карте он показывает не только своё месторасположение, но и расположенные вокруг него объекты [16].

Использование датчиков и оборудования для слежения за транспортным средством оказывает положительное влияние на качество и безопасность перевозки. В связи с этим растёт необходимость в усовершенствовании существующих и создании новых датчиков и индикаторов с расширенными возможностями [17].

Инфраструктурный фактор

Инфраструктурный фактор формирует условия для выполнения вспомогательных операций, какими являются погрузка-

разгрузка, терминальная и складская обработка, хранение, информационное сопровождение грузопотоков и др. Средствами технического обеспечения сервиса являются: транспортные и подъездные пути (автомобильные, железные дороги, транспортные коридоры и т.д.), погрузочно-разгрузочная техника общего применения и специализированная по видам транспорта, складские комплексы, терминалы [18].

Высокие логистические издержки обусловлены низким уровнем и качеством развития транспортно-логистической инфраструктуры, поэтому следует вывод о том, что для активизации торговых потоков должна быть качественная инфраструктурная обеспеченность [19; 20].

Использование автоматизированных складских систем позволяет производить установку в помещениях с различной площадью: от крупнейших складов предприятия до компактного помещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы статьи провели общий анализ факторов, влияющих на качество грузоперевозки, и на основе метода экспертной оценки выявили основные три группы факторов, с учётом которых возможно оптимизировать перевозочный процесс.

Определены текущее состояние и перспективы развития организации управления перевозочным процессом с использованием информационных технологий. Проведён анализ общих характеристик датчиков и индикаторов, позволяющих контролировать местоположение и состояние груза в контейнере в режиме реального времени, рассмотрены преимущества их использования. В ряду инфраструктурных факторов отмечена цифровизация складского помещения, которая позволит оперативно получать информацию о загрузке склада, которая необходима для распределения поступающего транспорта и грузов по территории предприятия, что приведёт к снижению издержек, связанных со временем простоя.

Требуется комплексное внедрение технологий, связанных со всеми тремя группами факторов. Конкретные условия и возможности их внедрения определяются взвешенной оценкой специфики деятельности транспортных компаний и особенностей перевозочного процесса, в котором они участвуют, требованиями клиентов.

¹ Пример общей информации: <https://intellias.com/smart-shipping-container-tracking/>. Сайты разработчиков и эксплуатантов: Kylos: <https://www.starcomsystems.com/kylos-ru/>. Oster, Remora: <https://www.digitalmatter.com/applications/container-gps-tracking/>. Piccolo: <https://wlius.com/uk/applications-2/shipping-container-cargo-gps-tracking-devices-solutions-uk-3/>. Samsara: <https://www.samsara.com/guides/gps-tracking-for-containers/>. <https://www.ms-scat.ru/b2b/resheniya/kontrol-gruzov/>. Торговая марка GPS-ЛОКАТОР ООО «Мониторинговые системы – Сервис»: <https://www.ms-scat.ru/b2b/resheniya/kontrol-gruzov/>. Profio electronics: <http://www.efeel.co/gps-locator-for-container-ip66-waterproof-magnet>. Triton: <https://radioterminal.ru/katalog/gps-glonass-monitoring/elektronnye-plomby/starcom-tetis-triton-standart1>. Naviset SATLOCATOR PRO IRIDIUM: <http://naviset.su/p26/t12/t113/index.html> и многие другие. Доступ 22.05.2021.





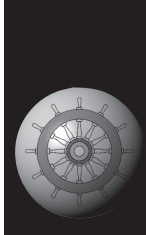
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Филиппова Н. А., Мороз Л. Г., Доленко Д. В. Применение метода сетевого планирования и управления для планирования мультимодальной перевозки // International Journal of Advanced Studies (Международный журнал перспективных исследований). – 2018. – Т. 8. – № 3-2. – С. 49–68.
2. Чеботарева Е. А., Солоп И. А. Развитие логистических и информационных технологий планирования доставки грузов в припортовой транспортно-технологической системе Юга России // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 6. [Электронный ресурс]: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6042>. Доступ 22.05.2021.
3. Воронин В. А., Куренков П. В., Солоп И. А., Чеботарева Е. А. Современные технологические и инновационные решения, направленные на увеличение пропускных и провозных способностей железнодорожных направлений // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 16–29. DOI: 10.17816/transysyst20217216-29.
4. Аликулов С. Р., Кузиев А. У. Вопросы оптимизации маршрутов перевозки автотранспортными средствами // Вопросы науки и образования. – 2019. – № 8 (54). – 10. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37347310> Доступ 22.05.2021.
5. Беданов М. К., Машинина Н. Г. Информационное обеспечение центра транспортной логистики // Новые технологии. – 2007. – № 3. – С. 114–122. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11693249>. Доступ 22.05.2021.
6. Филиппова Н. А., Каримова П. А. Организация работы взаимодействующих видов транспорта по единым технологическим процессам // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2019. – № 2. – С. 42–45.
7. Филиппова Н. А., Власов В. М. Иерархические уровни управления мультимодальной транспортной системой для перевозки грузов северного завоза // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 4(59) – С. 99–102. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41801838>. Доступ 22.05.2021.
8. Филиппова Н. А., Власов В. М. Методология повышения эффективности и надёжности транспортно-технологической мультимодальной системы севера России // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2019. – Т. 22. – № 6. – С. 55–65. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-6-55-65.
9. Грачёв П. П., Кушнарёва И. В. Проблемы транспортной логистики, задачи и принципы // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – № 1. – С. 383–388.
10. Куренков П. В., Володин А. Б., Астафьев А. В. и др. Анализ подходов к определению пропускных способностей объектов транспортной инфраструктуры // Транспорт: наука, техника, управление. Электрон. журн. – 2020. – № 9. – С. 8–13. DOI: 10.36535/023619142020092.
11. Мамаев Э. А., Вальчук Е. С. Прогнозирование контейнерооборота морских портов мира // Вестник РГУПС. – 2016. – № 2. – С. 94–100.
12. Солоп И. А., Солоп С. А., Чеботарева Е. А. Новые сквозные цифровые технологии организации перевозочного процесса // Практическое значение современных научных исследований 2018: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Одесса, 10–12 апреля 2018 г. – Одесса: ОНМУ, 2018. – Вып. 9. – Т. 2. – С. 30–38. DOI: 10.30888/2415-7538.2018-09-2-024.
13. Chislov, O., Zadorozhniy, V., Lomash, D., Chebotareva, E., Solop, I., Bogachev, T. Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport. In: Macioszek E., Sierpiński G. (eds) Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks. TSTP 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1083, pp.79-89. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34069-8_7. Print ISBN 978-3-030-34068-1. Online ISBN 978-3-030-34069-8.
14. Filippova, N., Zhukov, A., Bogumil, V., Melnikova, T., Ostroukh, A. Automated Dispatching Control System of Transportation Concrete Products // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2019, Vol. 14, No. 24, pp. 4821–4826.
15. Yakubovich, A. N., Yakubovich, I. A., Trofimenko, Y. V., Shashina, E. V. Intelligent management system of the automobile road's technical and operational condition in the cryolithozone. Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2019, Moscow, Russia, 2019, pp. 1–4.
16. Vlasov, V. M., Linnik, G. D. Ground Urban Passenger Transport in a Period of Digital Transformation. Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, 2021, Vol. 9416123. [Электронный ресурс]: www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193750284. Доступ 24.05.2021.
17. Filippova, N. A., Belyaev, V. M., Shilimov, M. V., Koshkarev, P. P., Odinkova I. V. The Analytical Test of Methodological Approaches to the Increasing the Level of Automation of the Basic Functions of the Car Dispatching of the Cargo Delivery to Northern Regions of the Russian Federation. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 2017, Vol. 12, pp. 11532–11535. ISSN 0036–0295.
18. Choudhury, A., Behl, A., Sheorey, P.A., Pal, A. Digital supply chain to unlock new agility: a TISM approach. Benchmarking – an International Journal, 2020. DOI: 10.1108/BIJ-08-2020-0461.
19. Филиппова Н. А., Беляев В. М. Влияние климатических факторов на расход топлива в условиях Севера // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2014. – № 5. – С. 8–14.
20. Смольянинова Е. Н., Полищук Е. В. Проблема современной складской логистики в России // АНИ: экономика и управление. – 2019. – № 2 (27). – С. 292–294. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38499924>. Доступ 24.05.2021. ●

Информация об авторах:

Пономарев Михаил Львович – Генеральный директор ООО «ИМЭКСПРОФИ», Москва, Россия, mikhail.ponomarev@mail.ru.
Филиппова Надежда Анатольевна – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, uten@bk.ru.
Великанов Александр Юрьевич – студент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, sasha.velikanov@mail.ru.
Неретин Александр Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, neretin_sasha@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.08.2020, одобрена после рецензирования 24.05.2021, дополнена 17.09.2021, принята к публикации 15.10.2021.



Планирование работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении



Людмила ТРОФИМОВА



Борис ТРОФИМОВ



Наталья ЯНКЕВИЧ

Людмила Семёновна Трофимова¹, Борис Сергеевич Трофимов², Наталья Викторовна Янкевич³

^{1, 2} Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия.

³ ООО «Транспортные решения», Омск, Россия.

✉ ¹ trofimova_ls@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является разработка методики для практической реализации и математической модели, учитывающих требования к перевозке опасных грузов, техническому состоянию подвижного состава, режимам труда и отдыха водителей на маршрутах междугородных перевозок, условиям заказчиков и интересам автотранспортного предприятия.

Функционирование подвижного состава при перевозке опасных грузов представлено как взаимосвязь перевозок грузов и выполнения технических обслуживаний.

Предложен подход к планированию, учитывающий соответствие количества технических обслуживаний требуемому значению за определённый период для подвижного состава, выполняющего перевозку нефтепродуктов; соответствие выработки подвижного состава объёму нефтепродуктов, которое может быть доставлено и выгружено в текущем месяце; соответствие времени движения водителей до специализированного места отдыха на междугородном маршруте времени, установленному по режимам труда и отдыха. Математическая модель позволяет определять

выработку подвижного состава за каждый месяц с учётом того, что перевозка нефтепродуктов, которая началась в прошлом месяце, заканчивается только в текущем. В математической модели функционирования подвижного состава при перевозке нефтепродуктов введены допущения, связанные с выполнением требований, предъявляемых к подвижному составу, водителю, которые указаны в Европейском соглашении о международной дорожной перевозке опасных грузов, Решении Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 877 (ред. от 21.06.2019 г.).

В исследовании уделено особое внимание планированию работы подвижного состава при увеличении объёмов перевозок нефтепродуктов при строительстве и реконструкции дорог. Алгоритм методики применялся для планирования работы подвижного состава при перевозке битума марки БНД 90/130 из города Омска в междугородном сообщении и явился основанием для принятия управленческих решений по использованию показателей в практике работы автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: подвижной состав автомобильного транспорта, междугородные перевозки, нефтепродукты, математическая модель, методика.

Для цитирования: Трофимова Л. С., Трофимов Б. С., Янкевич Н. В. Планирование работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 75–82. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-9>.

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



ВВЕДЕНИЕ

Вопросы планирования и организации перевозки нефтепродуктов в междугородном сообщении автотранспортом для целей строительства автодорог являются актуальными во многих странах мира в силу развитости автодорожного строительства, удалённости мест производства дорожных материалов, особого характера перевозки подобных грузов.

Так, в России на сегодняшний момент реализуется Федеральная программа, утверждённая постановлением Правительства от 20 декабря 2017 года № 1596: «Развитие транспортной системы». До конца 2021 года на строительство и реконструкцию дорог в регионах РФ выделено 100 млрд рублей.

В современных условиях при строительстве и реконструкции дорог используют вязкие дорожные битумы (далее битумы), которые являются производными от остаточных нефтепродуктов – нефтяных битумов и гудронов. Производятся битумы в условиях нефтеперерабатывающих заводов. В России производство осуществляется согласно ГОСТ 22245-90¹, в дорожном строительстве используется девять марок битума, каждая из которых относится к категории опасных грузов.

Опасными считаются грузы, которые обладают такими свойствами, что при выполнении операций перевозочного процесса возможно причинение вреда окружающей среде, промышленным и гражданским объектам, жизни и здоровью граждан. К перевозкам опасных грузов предъявляются требования по наличию специализированного подвижного состава, находящегося в технически исправном состоянии, упаковке и маркировке, квалифицированному выполнению погрузочно-разгрузочных операций. При планировании работы подвижного состава необходимо учитывать класс опасности груза, условия эксплуатации [1], которые приводят к ускорению износа отдельных узлов и деталей. Экономический ущерб от автомобильных аварий с опасным грузом значительно превышает размеры ущерба при авариях других видов транспорта [2].

Для того, чтобы выполнить операции перевозочного процесса, необходимо соблюдать требования законодательства и международных договоров (соглашения о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ))

и иметь свидетельство о допуске к перевозке опасных грузов. Перевозка нефтепродуктов в междугородном сообщении накладывает дополнительные ограничения на планирование работы подвижного состава.

Авторами настоящего исследования изучена практика перевозок нефтепродуктов, в результате установлено, что по требованиям заказчиков все стоянки на междугородном маршруте дольше пяти минут должны быть согласованы заранее. Стоянки могут находиться только в рамках «дорожной сети». При движении запрещено отклоняться от установленного пути, останавливаться вне графика, превышать скорость.

Для автотранспортных предприятий (АТП), выполняющих перевозку нефтепродуктов на строительство и реконструкцию дорог, требуется строгое выполнение условий договоров. При этом в случае срыва условий перевозок, в том числе и по причине технической неисправности подвижного состава, предусмотрены штрафные санкции.

Результаты исследований отечественных и зарубежных учёных, практических работников показали, что при перевозке нефтепродуктов автомобильным транспортом, прежде всего, решаются задачи повышения безопасности транспортного процесса [3]. Дж. Флоден и Дж. Воксениус (J. Flodén, J. Woxenius) [4] дали рекомендации по формированию маршрута перевозки опасных грузов для повышения безопасности перевозок и согласования его с поставщиками и заказчиками.

С. В. Кондратов, А. Н. Новиков [5] рассмотрели методологические аспекты анализа рисков при перевозке опасных грузов автомобильным транспортом, в системе «человек–машина–среда–груз». В работе [6] представлено ранжирование критериев оценки риска по степени важности при перевозке нефтепродуктов автомобильным транспортом.

Ряд результатов научных исследований посвящен выявлению факторов, влияющих на показатели работы подвижного состава. С. Ниу и С. В. Уккусери (S. Niu, S. V. Ukkusuri) [7] установили, что дорожно-климатические условия, мощность транспортного потока и средняя скорость оказывают влияние на пробег подвижного состава.

В. Н. Федотов [8] выполнил исследования по определению выработки подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в зависимости от расстояния перевозки, времени по-

¹ ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200003410>. Доступ 25.05.2021.

грузочно-разгрузочных работ, параметров транспортного потока улично-дорожной сети г. Волгограда. В работе [9] делается вывод о необходимости учёта сезонной неравномерности при перевозке нефтепродуктов. Исследования С. М. Мочалина, В. А. Радионой [10] посвящены учёту вероятностных факторов.

Особое внимание в научных исследованиях уделяется характеристикам маршрутов, по которым перевозятся опасные грузы. В работе [11] разработан план перевозок нефтепродуктов за счёт группировки маршрутов, выбора подвижного состава.

И. М. Царенкова [12] предложила делать подбор подвижного состава с учётом его производительности и выбор схемы перевозок по критерию минимальных затрат на перевозку грузов при строительстве дорог.

Н. Холечек (N. Holeczek) [13] приводит подробную классификацию маршрутов для обеспечения безопасности. А. Кишоре, Б. Нильс, А. Р. Zuidwijk (A. Kishore, B. Niels, A. R. Zuidwijk) [14] использовали модели исследования операций для разработки графиков движения подвижного состава применительно к конкретным маршрутам перевозок грузов.

З. Лукай и Ф. Ксюсонг (Z. Lukai, F. Xuesong) [15] предложили комплексный подход к планированию, учитывающий показатели риска при перевозке опасных грузов в автоцистернах и характеристики междугородных маршрутов. Разработанный алгоритм планирования практически реализован в ряде районов Восточного Китая.

В работе [16] представлен маршрут перевозок грузов с использованием графоаналитического метода. В работе [17] предложено особое внимание уделять оценке качества перевозок.

В статьях [18–20] была выполнена оценка риска для безопасности перевозки грузов с учётом отказов в работе подвижного состава, который исследуется как система взаимосвязанных узлов и агрегатов. Сделан вывод о необходимости своевременного выполнения технических обслуживаний подвижного состава, выполняющего перевозки нефтепродуктов.

Вместе с тем современные научные представления не позволяют в должной мере комплексно подойти к решению задачи планирования, направленной на учёт действующих требований к перевозке опасных грузов, техническому состоянию подвижного состава,

требований заказчиков и интересов деятельности АТП.

При этом решение задачи планирования работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении с учётом влияния вышеозначенных требований является более чем актуальным.

Цель исследования – разработка алгоритма методики для практической реализации и математической модели, учитывающих требования к перевозке опасных грузов, техническому состоянию подвижного состава, режимам труда и отдыха водителей на маршрутах междугородных перевозках, условиям Заказчиков и интересам автотранспортного предприятия.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- разработать математическую модель, отражающую функционирование подвижного состава при перевозке нефтепродуктов при ряде ограничений, обоснованных действующими законодательными документами и практикой работы АТП, и позволяющую применять прибыль для выбора наилучшего значения при определении плановых показателей;

- предложить алгоритм методики для практической реализации математической модели, позволяющий принимать управленческие решения по использованию плановых показателей работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов.

В ходе исследования предусматривалось апробировать разработанную методику.

Научная новизна настоящего исследования состоит в том, что на основе изучения действующих законодательных документов, исследований научных и практических работников, практики перевозок опасных грузов, с применением концепции текущего планирования работы АТП разработаны математическая модель и методика, позволяющие выполнить планирование работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе [21] представлен теоретико-практический инструментарий, отражающий функционирование специализированного подвижного состава типоразмеров АТП для выполнения условий договоров при перевозке грузов в междугородном сообщении. Разработанная концепция текущего планирования работы АТП синтезирует методы теории грузовых автомо-



Характеристика требований, используемых в качестве допущений в математической модели (выполнено авторами)

Наименование документа	Характеристика
Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ)	Требования, предъявляемые к подвижному составу по количеству прицепов (или полуприцепов), наличию свидетельства о допуске к перевозке опасных веществ и его сроке действия, наличию специальной маркировки и проблесковой лампы, спутниковой навигации ГЛОНАСС или GPS, определённого снаряжения. Требования, предъявляемые к водителю по наличию свидетельства (ДОПОГ) и др. документов, стажу вождения, опыту работы и др.
Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 877 (ред. от 21.06.2019 г.) «О принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств»» (вместе с «ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств»)	Требования, предъявляемые к цистернам, автоцистернам, прицепах (полуприцепам). Запрет на установку дополнительных топливных баков, не предусмотренных изготовителем транспортного средства, обогревательных приборов в кабине водителя и грузовых отделениях. Особые требования к рабочей тормозной системе, защите электрических цепей, наличию элементов защиты от случайного срабатывания, а также обозначение выключателя для отсоединения аккумуляторной батареи от электрооборудования подвижного состава и др.

бильных перевозок, теории технического обслуживания и текущего ремонта для подвижного состава. Реализация представленных методик в практике работы АТП позволяет осуществлять подбор подвижного состава типоразмеров АТП при соблюдении условий, направленных на удовлетворение потребностей заказчиков, выполнение плановых технических обслуживаний.

В работе [22] представлена математическая формула, учитывающая количество технических обслуживаний для подвижного состава в междугородном сообщении, в исследованиях [23] даны характеристики подвижного состава и требования к перевозке опасных грузов.

В настоящем исследовании разработана математическая модель функционирования подвижного состава при перевозке нефтепродуктов, использование которой позволяет учитывать ограничения и применять прибыль для выбора наилучшего значения в рамках следующих ограничений:

- соответствие количества технических обслуживаний подвижного состава, выполняющего перевозку нефтепродуктов, требуемому значению в определённый период;
- соответствие выработки подвижного состава объёму нефтепродуктов, которое может быть доставлено и выгружено в текущем месяце;
- соответствие времени движения водителей при перевозке нефтепродуктов до специализированного места отдыха на междугородном маршруте времени, установленному по режимам труда и отдыха.

Для построения математической модели функционирования подвижного состава при

перевозке нефтепродуктов введены допущения, связанные с выполнением положений, указанных в действующих документах (табл. 1).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В математической модели количество подвижного состава изменяется от 1 до X и планирование работы выполняется для каждой единицы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов. В результате заключения договора с заказчиком выполняется услуга на перевозку по i -му маршруту в междугородном сообщении, который имеет характеристики, определяющие возможности остановок и стоянок подвижного состава во время отдыха водителя. Каждый маршрут соответствует конкретному договору. Если по одному договору выполняется несколько маршрутов, то в математической модели предусмотрено суммирование показателей (объём перевозок, трудоёмкость технических обслуживаний, затраты, доходы и прибыль) по каждому маршруту.

Для выполнения перевозок нефтепродуктов необходимо обеспечение технически исправного состояния подвижного состава, поэтому в математической модели предусмотрено планирование технических обслуживаний с учётом пробега и периодичности проведения этих обслуживаний (формулы (1)–(3)).

Математическая модель позволяет учитывать существующие требования по периодичности выполнения плановых технических обслуживаний (формула (1)), объёмам работ технического обслуживания и текущего ремонта (формула (3)), их количеству (формула (2)) для подвижного состава, осуществляющего перевозку нефтепродуктов.

В настоящем исследовании учитываются особенности формирования выработки подвижного состава за каждый месяц (формулы (4)–(7)). Возможно увеличение выработки в текущем месяце за счёт того, что перевозка нефтепродуктов, которая началась в прошлом месяце, заканчивается только в текущем месяце (формула (5)).

Для обеспечения соответствия времени движения водителей при перевозке нефтепродуктов до специализированного места отдыха на междугородном маршруте времени, установленному по режимам труда и отдыха, в математической модели представлены формулы (8)–(10). Требования по условиям заказчиков к объёмам перевозок нефтепродуктов в междугородном сообщении представлены в ограничении (формула (11)). По формулам (12)–(14) выполняется расчёт прибыли для выбора наилучшего значения в рамках установленных ограничений.

$$N_{\text{ТО-1},i,x} = \frac{L_{i,x}}{W_{\text{ТО-1},i,x}}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (1)$$

$$N_{\text{ТО-1},i,x} \geq 2; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (2)$$

$$n_{i,x} = \begin{cases} 1, & \text{если } \begin{cases} (N_{\text{ТО-1},i,x} \cdot u_{\text{ТО-1},i,x}) \geq y_{\text{ТО-1},i,x}; \\ (N_{\text{ТО-2},i,x} \cdot u_{\text{ТО-2},i,x}) \geq y_{\text{ТО-2},i,x}; \end{cases} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (3)$$

где $L_{i,x}$ – пробег x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, км;

$W_{\text{ТО-1},i,x}$ – нормативный пробег до планового обслуживания x -го подвижного состава с учётом условий эксплуатации и природно-климатических условий при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, км;

$N_{\text{ТО-1},i,x}, N_{\text{ТО-2},i,x}$ – количество воздействий для x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ед.;

$$N_{\text{ТО-1},i,x} = \text{int}(N_{\text{ТО-1},i,x}), N_{\text{ТО-2},i,x} = \text{int}(N_{\text{ТО-2},i,x});$$

$u_{\text{ТО-1},i,x}, u_{\text{ТО-2},i,x}$ – трудоёмкость одного воздействия соответственно по ТО-1, ТО-2 и ТР для x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов с учётом коэффициентов корректирования нормативов трудоёмкости, чел.·ч;

$y_{\text{ТО-1},i,x}, y_{\text{ТО-2},i,x}$ – требуемая трудоёмкость соответственно по ТО-1, ТО-2 и ТР для x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, чел.·ч.

$$t_{\text{Д},i,x} = \begin{cases} (t_{\text{з},i,x} + t_{\text{б},i,x}) - t_{\text{Б},i,x}, \\ \text{если } \Phi B - \left[\frac{\Phi B - d_x}{t_{\text{з},i,x} + t_{\text{б},i,x}} \right] \times (t_{\text{з},i,x} + t_{\text{б},i,x})^3 t_{\text{н},i,x}; \\ 0, \text{если } \Phi B - \left[\frac{\Phi B}{t_{\text{з},i,x} + t_{\text{б},i,x}} \right] \times (t_{\text{з},i,x} + t_{\text{б},i,x}) < t_{\text{н},i,x}, \end{cases} \quad (4)$$

где $t_{\text{Д},i,x}$ – время, необходимое для окончания ездки с грузом в текущем месяце x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч;

$t_{\text{з},i,x}$ – время движения с грузом x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч;

$t_{\text{б},i,x}$ – время движения без груза x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч;

$t_{\text{Б},i,x}$ – время на ездку в предыдущем месяце для x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч;

ΦB – фонд рабочего времени, ч;

d_x – продолжительность простоя в техническом обслуживании для x -го подвижного состава, ч;

$t_{\text{н},i,x}$ – время на погрузку x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч.

$$Q_{i,x} = Z_{i,x} \cdot M_{\text{оп},x} \cdot n_{\text{Д},i,x}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (5)$$

$$n_{\text{Д},i,x} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_{\text{Д},i,x} \geq t_{\text{н},i,x}; \\ 0, & \text{если } t_{\text{Д},i,x} < t_{\text{н},i,x}, \end{cases} i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (6)$$

$$Z_{i,x} = \left[\frac{\Phi B - d_x - t_{\text{Д},i,x}}{2t_{\text{г},i,x}} \right]; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (7)$$

где $Q_{i,x}$ – выработка за месяц x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, т;

$Z_{i,x}$ – количество ездок x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ед.;

$Z_{\text{м},i,x} = \text{int}(Z_{\text{м},i,x})$; $M_{\text{оп},i,x}$ – массы отправки нефтепродуктов для x -го подвижного состава по i -му маршруту междугородного сообщения, т;

$n_{\text{Д},i,x}$ – булева переменная увеличения выработки x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, $n_{\text{Д},i,x} = 0, 1$, $n_{\text{Д},i,x} = \text{int}(n_{\text{Д},i,x})$.





$$t_{\text{re},x} = t_{\text{nyi},x} + t_{\text{cni},x} + t_{\text{znci},x} + t_{\text{znni},x} + t_{\text{zoi},x};$$

$$i = \overline{1, I}; \quad x = \overline{1, X}; \quad (8)$$

$$t_{\text{nyi},x} \leq \frac{l_{\text{nyi},x}}{V_{\text{Тм}}}; \quad i = \overline{1, I}; \quad x = \overline{1, X}; \quad (9)$$

$$t_{\text{cni},x} \leq \frac{l_{\text{cni},x}}{V_{\text{Тм}}}; \quad i = \overline{1, I}; \quad x = \overline{1, X}, \quad (10)$$

где $t_{\text{nyi},x}$, $t_{\text{cni},x}$, $t_{\text{znci},x}$, $t_{\text{znni},x}$, $t_{\text{zoi},x}$ – соответственно время на непрерывное управление с начала работы водителя, время на движение между специальными перерывами, время специальных перерывов за смену, время для питания, время для отдыха водителя за смену x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, ч;

$l_{\text{nyi},x}$ – пробег до места остановки (стоянки) после непрерывного управления с начала работы водителя x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, км;

$l_{\text{cni},x}$ – пробег до места остановки (стоянки) после специального перерыва x -го подвижного состава при перевозке нефтепродуктов по i -му маршруту междугородного сообщения, км.

$$\sum_{x=1}^X (Q_{i,x} \cdot n_{i,x}) \cdot D_i \geq Q_{\text{пл}}, \quad i = \overline{1, I}; \quad (11)$$

$$R_i = \sum_{x=1}^X (Q_{i,x} \cdot n_{i,x}) \cdot D_i \cdot C_i, \quad i = \overline{1, I}; \quad (12)$$

$$\Pi_i = R_i - Z_i, \quad i = \overline{1, I}; \quad (13)$$

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \Pi_i \rightarrow \max, \quad (14)$$

где D_i – планируемое количество месяцев работы по i -му маршруту междугородного сообщения, ед.;

$D_i = \text{int}(D_i)$; $Q_{\text{пл}}$ – количество груза, требуемое заказчиком при перевозке по i -му маршруту междугородного сообщения, т;

C_i – тариф на перевозку груза по i -му маршруту междугородного сообщения, руб./т;

R_i – результат от перевозки груза по i -му маршруту междугородного сообщения, руб.;

Z_i – затраты на перевозку груза по i -му маршруту междугородного сообщения, руб.;

Π_i – прибыль от перевозки груза по i -му маршруту междугородного сообщения, руб.;

$\mathcal{E}$ – эффект от работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении, руб.

В математической модели комплексно реализуются следующие условия:

- обеспечение требований по количеству технических обслуживаний в конкретный временной промежуток для подвижного состава, выполняющего перевозки нефтепродуктов;

- обеспечение требований по определению планового объема перевозок грузов в междугородном сообщении, так как он может увеличиваться в текущем месяце за счёт того, что погрузка нефтепродуктов была выполнена в предыдущем месяце, а разгрузка – в текущем месяце;

- обеспечение требований по режимам труда и отдыха водителей за счёт соответствия времени, которое необходимо, чтобы доехать до специального места остановки и (или) стоянки подвижного состава на маршруте междугородных перевозок, установленному времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для практической реализации математической модели разработан алгоритм методики, который включает в себя основные этапы для определения плановых показателей (рис. 1).

К исходным данным относится информация о подвижном составе, требованиях заказчиков к объемам перевозок грузов и тарифам по месяцам, требованиям к режимам труда и отдыха водителей при перевозке в междугородном сообщении. В исходные данные вводятся значения расстояний до стоянок в рамках «дорожной сети», которые согласованы заранее. Время на погрузку–разгрузку, средняя техническая скорость, масса отправки нефтепродуктов по конкретному маршруту являются характеристиками технологии перевозок грузов и обязательным элементом для расчёта плановых показателей.

Практическая реализация методики выполнена на примере перевозок битума марки БНД 90/130 из города Омска в междугородном сообщении. Длина ездки с грузом от 820 км до 870 км. Перевозка выполняется седельными тягачами Volvo FH12 440 с полуприцепом SESPEL-SF3B25. Применение методики позволило определить плановые показатели по месяцам с учётом потребности в грузе за этот период. В первый рабочий месяц (март) и последний рабочий месяц (ноябрь) запланировано по одной езде для каждой единицы подвижного состава на междугородных маршрутах с учётом всех

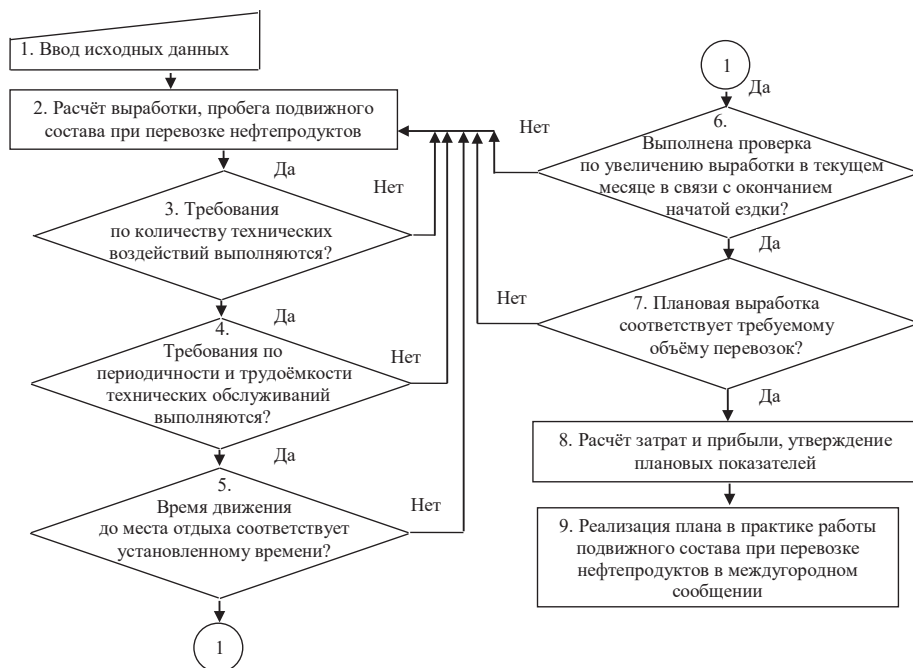


Рис. 1. Алгоритм методики планирования работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении (выполнено авторами).

требований к перевозке опасных грузов. Установлено, что для выполнения планового объёма перевозок (4400 тонн) потребуется 11 единиц подвижного состава. Величина прибыли составила 10004455 руб., что на 8,3 % больше, чем прибыль, полученная при расчёте показателей без комплексного учёта влияния установленных требований к перевозке нефтепродуктов в междугородном сообщении.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе представлены исследования по планированию работы подвижного состава в условиях развития транспортной системы, характеризующейся увеличением объёмов перевозок нефтепродуктов на строительство и реконструкцию дорог.

Разработана математическая модель функционирования подвижного состава при перевозке нефтепродуктов, позволяющая определять плановые показатели с учётом требований действующего законодательства по перевозке опасных грузов, по режимам труда и отдыха водителей на междугородных маршрутах, техническому состоянию подвижного состава, а также условий заказчиков и результатов деятельности АТП.

Предложен алгоритм методики для практической реализации математической модели,

позволяющий принимать управленческие решения по использованию плановых показателей работы подвижного состава при перевозке нефтепродуктов.

Выполненные исследования переданы для практической реализации в АТП города Омска, выполняющее перевозку битума в междугородном сообщении. Дальнейшие исследования авторы планируют посвятить последующему развитию теоретических положений, связанных с планированием работы подвижного состава.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнова О. Ю. Вопросы идентификации грузов при перевозке автомобильным транспортом // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 125–133. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-125.
2. Силицын В. В., Татаринов В. В., Прус Ю. В., Кирсанов А. А. Статистика автомобильных перевозок опасных грузов и происшествий // Технологии транспортной безопасности. – 2018. – Вып. 4 (80). – С. 24–35. DOI: 10.25257/TTS.2018.4.80.24-35.
3. Жесткова С. А., Якунин Н. Н., Якунина Н. В. Повышение безопасности перевозок нефтепродуктов автомобильным транспортом // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – № 2 (69). – С. 79–84. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-69-2-79-84.
4. Flodén, J., Woxenius, J. A stakeholder analysis of actors and networks for land transport of dangerous goods. Research in Transportation Business & Management, 2021, Article 100629. DOI: 10.1016/j.rtbm.2021.100629.
5. Кондратов С. В., Новиков А. Н. Экспертный метод анализа и оценки риска при перевозке опасных грузов //





Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – № 1 (4). – С. 254–258. DOI: 10.12737/18004.

6. Овсянников В. Е., Ширяева А. Н., Джинджолава Д. Г. [и др.] Совершенствование управления рисками в сфере перевозок нефтепродуктов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 3. – С. 120–127. DOI: 10.31660/0445-0108-2020-3-120-127.

7. Niu, S., Ukkusuri, S. V. Risk Assessment of Commercial dangerous – goods truck drivers using geo-location data: A case study in China. Accident Analysis & Prevention, 2020, Vol. 137, Article 105427. DOI: 10.1016/j.aap.2019.105427.

8. Федотов В. Н., Алексиков С. В. Исследование производительности технологического автотранспорта при перевозке светлых нефтепродуктов в городских условиях // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13. – № 2. – С. 64–68. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10238.

9. Федотов В. Н. К вопросу о сезонной неравномерности грузоперевозок автомобильным транспортом // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 11 (67). – С. 286–288. [Электронный ресурс]: <https://web.snauka.ru/issues/2016/11/74971>. Доступ 21.05.2021.

10. Мочалин С. М., Радионова В. А. Оценка результативности цепи поставок на основе теории нечётких множеств // Проблемы машиноведения: Материалы V Международ. науч.-технич. конф. 2021 года. – Омск: Омский государственный технический университет. – С. 211–217. DOI: 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-211-217.

11. Попов Д. А., Кузнецов О. В., Куликов А. В. Совершенствование организации перевозки нефтяной продукции на примере технических масел из г. Волгограда // Технические науки: современные исследования и разработки: Материалы Международ. науч.-практич. конф. 2018. – Иркутск. – С. 52–61. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35220530>. Доступ 21.05.2021.

12. Царенкова И. М. Оптимизация поставок материальных ресурсов в логистической системе строительства автомобильных дорог // Наука и техника. – 2017. – Т. 16. – № 6. – С. 537–545. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-537-545.

13. Holeczek, N. Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2019, Vol. 69, pp. 305–328. DOI: 10.1016/j.trd.2019.02.010.

14. Kishore, A., Niels, B., Zuidwijk, A. R. Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research. Transportation Research Part B: Methodological, 2018, Vol. 107, pp. 212–228. DOI: 10.1016/j.trb.2017.10.016.

15. Lukai, Z., Xuesong, F. Planning tank-truck hazardous materials shipments in intercity road transportation networks. Applied Mathematical Modelling, 2021, Vol. 89, pp. 1860–1880. DOI: 10.1016/j.apm.2020.09.009.

16. Домке Э. Р., Жесткова С. А., Подшивалов С. Ф. Повышение эффективности перевозок нефтепродуктов автомобильным транспортом // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – № 3 (30). – С. 70–74. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17902422>. Доступ 21.05.2021.

17. Филиппова Н. А., Мушта Б. М. К вопросу об оценке качества грузовых перевозок // Наука и образование: проблемы и перспективы: Материалы XXI Всеросс. с международ. участием науч.-практич. конф. молодых учёных, студентов и учащихся. – 2019. – Бийск: Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В. М. Шукшина. – С. 88–93. [Электронный ресурс]: http://www2.bigpi.biysk.ru/wwwsite/doc/news/Proceedings_Science_and_Edu_2019.pdf. Доступ 21.05.2021.

18. Ghalheha, S., Omidvarib, M., Nassiric, P., Momenid, M., Mohammadreza, S., Lavasanie, M. Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). Safety Science, 2019, Vol. 116, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.039.

19. Хусаенов Р. А., Лисин В. А. Совершенствование проверки технического состояния автоцистерн FL // Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых учёных: Материалы Международ. науч.-практич. конф. – 2016. – Омск: СибАДИ. – С. 401–408. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26160493>. Доступ 21.05.2021.

20. Алтунина М. С., Вароди А. П. Перспективы развития перевозок светлых нефтепродуктов автомобильным транспортом // Современные прикладные исследования: Материалы V национальной науч.-практич. конф. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. – 2021. – С. 116–120. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46255905>. Доступ 21.05.2021.

21. Трофимова Л. С., Певнев Н. Г. Математическая модель функционирования автотранспортного предприятия при перевозке грузов в междугородном сообщении для текущего планирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – № 4. – С. 243–252. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-243-252>.

22. Трофимова Л. С., Трофимов Б. С., Янкевич Н. В. Планирование технического обслуживания для специализированного подвижного состава при перевозке опасных грузов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Материалы V Международ. науч.-практич. конф. – 2021. – Омск: СибАДИ. – С. 227–231. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44737322>. Доступ 21.05.2021.

23. Трофимова Л. С., Янкевич Н. В. Планирование перевозок опасных грузов в междугородном сообщении // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Материалы II Национальной науч.-практич. конф. – 2019. – Омск: СибАДИ. – С. 255–258. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38256837>. Доступ 21.05.2021. ●

Информация об авторах:

Трофимова Людмила Семёновна – доктор технических наук, профессор кафедры организации перевозок и управления на транспорте Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), Омск, Россия, trofimova_ls@mail.ru.

Трофимов Борис Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), Омск, Россия, trofim_bs@mail.ru.

Янкевич Наталья Викторовна – менеджер отдела эксплуатации автомобильного транспорта, ООО «Транспортные решения», Омск, Россия, natasha.yankevich@mail.ru.

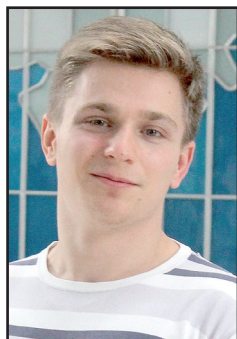
Статья поступила в редакцию 17.08.2021, одобрена после рецензирования 22.10.2021, принята к публикации 25.10.2021.



Развитие транспортной доступности и транспортной связанности Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма



Ирина ПОЛЕШКИНА



Аркадий ЛУТИН

*Ирина Олеговна Полешкина¹,
Аркадий Николаевич Лутин²*

*^{1,2} Московский государственный технический
университет гражданской авиации, Москва,
Россия.*

✉ ¹ ipoleshkina@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

На основе анализа маршрутной сети железнодорожного транспорта, аэропортов и автомобильного сообщения в статье дана оценка транспортной доступности курортов Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма. Рассмотрена структура туристического потока в разрезе используемых видов транспорта. На Черноморское побережье России более 50 % туристов приезжают на собственных автомобилях, что говорит о недостаточном использовании воздушного транспорта и приводит к чрезмерной нагрузке на автомагистрали и экологию Кубани и Краснодарского края. Опросы показыва-

ли, что основными причинами использования автомобильного транспорта туристами являются отсутствие прямых рейсов воздушного транспорта из некоторых крупных городов России и плохая транспортная связанность внутри Черноморского побережья. В статье определены направления для открытия новых маршрутов из трёх региональных аэропортов. Для решения проблемы транспортной связанности предложено развитие морского сообщения с применением судов на подводных крыльях, которые позволят повысить мобильность туристов внутри побережья и привлечь дополнительный туристический поток.

Ключевые слова: курорты Черноморского побережья, транспортная система, транспортная доступность, транспортная связанность, воздушный транспорт, суда на подводных крыльях.

Для цитирования: Полешкина И. О., Лутин А. Н. Развитие транспортной доступности и транспортной связанности Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения и развития туризма // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 83–90. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-10>.

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

ВВЕДЕНИЕ

На Черноморском побережье расположены крупнейшие курорты: Адлер, Сочи, Туапсе, Геленджик, Анапа, Керчь, Феодосия, Судак, Ялта, Севастополь, Евпатория, которые ежегодно посещает более 20 миллионов туристов. Спрос на туристические услуги российских курортов в условиях распространения по всему миру коронавирусной инфекции и прекращения большей части международных транспортных сообщений продолжает расти.

Транспортное сообщение между регионами России и Черноморскими курортами осуществляется за счёт железнодорожного, автомобильного и воздушного транспорта. Воздушное сообщение является наиболее быстрым и доступным для туристов из всех регионов России. На территории Черноморского побережья воздушное сообщение обслуживается четырьмя аэропортами, расположенными в городах Симферополь, Анапа, Геленджик и Сочи.

Несмотря на то, что воздушный транспорт является наиболее удобным, его услугами пользуется недостаточно большой процент отдыхающих [1]. Опросы, проведённые авторами, показали, что приоритетное использование личных автомобилей туристами, прибывающими на курорт, связано с недостаточно развитым транспортным сообщением между городами Черноморского побережья. Использование автомобиля упрощает процесс перемещения между туристическими объектами региона и делает отдых более комфортабельным [2]. Такого мнения придерживаются не только туристы, прибывающие из Центрального Федерального округа, но и из более отдалённых регионов. На Черноморском побережье можно встретить даже автомобили из Сибирского Федерального округа. Большой поток туристов, приезжающих на собственных автомобилях, создаёт чрезмерную нагрузку на транспортные магистрали Краснодарского края и Кубани, увеличивает выброс CO_2 и приводит к ухудшению экологической ситуации на побережье. Решение данной проблемы видится в развитии транспортной связанности между курортами Черноморского побережья и Краснодарского края, которая позволит переориентировать входящие туристические потоки с автомобильного на воздушный транспорт.

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование транспортной доступности Черноморского побережья России было проведено на основе анализа маршрутной сети межрегионального железнодорожного транспорта, действующей маршрутной сети аэропортов и автомобильного сообщения. Был проведён анализ структуры прибывающих туристических потоков на побережье в разрезе используемых видов транспорта на основании статистических данных Министерства курортов и туризма Краснодарского края.

Оценка транспортной связанности курортов осуществлялась на основании расчёта общего времени на переезд и количества требуемых стыковок региональных маршрутов общественного транспорта посредством геоинформационной системы Google Maps. Время переезда сравнивается с временем поездки от аэропорта до курорта на такси или личном автомобиле. Также были рассмотрены курорты, между которыми пассажирское сообщение отсутствует в принципе, что ограничивает мобильность туристов на Черноморском побережье.

Зарубежный опыт увеличения пассажиропотока курортных аэропортов рассмотрен на примере аэропорта Бари на северном побережье Италии и аэропорта Ливерпуль на северном побережье Англии. Опыт данных аэропортов рассматривался на основании заключительного отчёта Европейской комиссии по региональной политике.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пассажиропоток и маршрутная сеть аэропортов Черноморского побережья

Наиболее загруженным аэропортом Черноморского побережья России является аэропорт Сочи, что обусловлено привлекательностью данного курорта и близостью расположения Республики Абхазия, не имеющей своего воздушного сообщения с Россией. Аэропорт Сочи занимает 5 место в России по пассажиропотоку после аэропортов Московского авиационного узла и аэропорта Пулково. На втором месте находится аэропорт Симферополь, на третьем месте Анапа, на четвёртом месте Геленджик. Сравнительный объём пассажиропотока, количество прибывших и вылетевших пассажиров и широта маршрутной сети в 2020 г. представлены в табл. 1.

Общий объём пассажиропотока, прибывшего на Черноморское побережье воздушным транспортом, в 2020 году составил 6611 181

Таблица 1

Пассажиропоток и маршрутная сеть аэропортов в 2020 году

Аэропорт	Пассажиро-поток, человек	Прибыло пассажиров, человек	Вылетело пассажиров, человек	Маршрутная сеть аэропорта
Геленджик	148 374	74 549 (1,1 %)	73 825	5 направлений: Москва; Санкт-Петербург; Екатеринбург; Новосибирск; Сургут
Анапа (Витязево)	1 813 128	922 594 (14,0 %)	890 534	19 направлений: Москва; Санкт-Петербург; Екатеринбург; Новосибирск; Сургут; Красноярск; Архангельск; Мурманск; Петрозаводск; Апатиты; Сыктывкар; Нижний Новгород; Кострома; Казань; Пермь; Уфа; Оренбург; Иваново; Череповец
Симферополь	4 630 569	2 321 290 (35,1 %)	2 309 279	43 направления: Москва; Санкт-Петербург; Екатеринбург; Новосибирск; Хабаровск; Томск; Барнаул; Сургут; Новокузнецк; Омск; Красноярск; Иркутск; Архангельск; Мурманск; Сыктывкар; Магадан; Нижневартовск; Салехард; Калуга; Киров; Кострома; Ульяновск; Ноябрьск; Воронеж; Казань; Волгоград; Курск; Чебоксары; Нижнекамск; Пермь; Тюмень; Уфа; Оренбург; Челябинск; Иваново; Саратов; Липецк; Тамбов; Череповец; Минеральные воды; Краснодар; Сочи; Белгород
Сочи	6 505 301	3 292 748 (49,8 %)	3 212 553	53 направления: Рига; Дубай; Минск; София; Ташкент; Актау; Нур-Султан; Стамбул; Ереван; Тель-Авив; Калининград; Москва; Санкт-Петербург; Нижний Новгород; Челябинск; Екатеринбург; Новосибирск; Томск; Сургут; Новокузнецк; Кемерово; Ханты-Мансийск; Красноярск; Архангельск; Мурманск; Сыктывкар; Нижневартовск; Киров; Казань; Самара; Череповец; Астрахань; Волгоград; Ноябрьск; Курск; Нижнекамск; Ижевск; Пенза; Пермь; Тюмень; Уфа; Оренбург; Курган; Саратов; Саранск; Бугульма; Липецк; Тамбов; Череповец; Минеральные воды; Краснодар; Махачкала; Симферополь; Белгород
Итого	13 097 372	6 611 181	6 486 191	

Таблица 2

Туристический поток, млн чел.*

Годы	Краснодарский край	Сочи	Анапа
2016	14,70	5,00	3,70
2017	14,90	6,00	4,50
2018	15,80	6,50	5,00
2019	16,00	6,40	4,98
2020	11,50	5,10	5,00

*Таблица составлена на основании данным Министерства курортов и туризма Краснодарского края.

человек. Через аэропорт Сочи прибыло около 50 % этого пассажиропотока, а через аэропорт Симферополя – 35 %. Это обусловлено плотностью маршрутной сети этих аэропортов. Аэропорт Сочи обслуживает 9 международных направлений и 44 внутренних. Аэропорт Симферополя обслуживает 43 внутренних направления. Прямое воздушное сообщение осуществляется только между аэропортами Сочи и Симферополя, остальные аэропорты

Черноморского побережья прямого воздушного сообщения между собой не имеют. Наибольший поток туристов прилетает из Москвы, Санкт-Петербурга и Новосибирска.

При этом на долю воздушного транспорта приходится в среднем около 55,5 % туристов, прибывающих в Краснодарский край [3]. Общий объём туристического потока Черноморского побережья, прибывающего всеми видами транспорта, представлен в табл. 2.



Таблица 3

Расстояние и время в пути между аэропортами и некоторыми курортами
Черноморского побережья

Маршрут	Расстояние по автомагистрали, км	Время в пути на такси или личном автомобиле	Время в пути на автобусе (количество пересадок)	Время в пути железнодорожным транспортом
Симферополь–Евпатория	71,0	1 час 24 мин.	нет	нет
Симферополь–Севастополь	87,8	1 час 30 мин.	5 ч 44 м (3 п.)	5 часов
Симферополь–Форос	109,0	1 ч 25 мин–2 ч	6 ч 40 мин (3 п.)	нет
Симферополь–Ялта	98,8	1 ч 40 мин	4 ч 20 мин (2 п.)	нет
Симферополь–Алушта	65,0	1 ч–1 ч 50 мин	3 ч 10 мин (2 п.)	нет
Симферополь–Судак	113,0	1 ч 25 мин–2 ч	нет	нет
Симферополь–Коктебель	163,0	2 ч 10 мин–2 ч 40 мин	нет	нет
Симферополь–Феодосия	123,0	1 ч 20 мин–2 ч	нет	нет
Симферополь–Керчь	213,0	2 ч–2 ч 50 мин	нет	нет
Симферополь–Анапа	334,0	4 ч 30 мин–6 ч 10 мин	нет	нет
Анапа–Керчь	120,0	2 ч 20 мин–3 ч 20 мин	нет	нет
Анапа–Новороссийск	52,2	55 мин–1 ч 40 мин	нет	нет
Анапа–Геленджик	82,7	1 ч 25 мин–2 ч 40 мин	нет	нет
Анапа–Сочи	330,0	5 ч 50 мин	14 ч (3 п.)	нет
Сочи–Геленджик	227,0	4 ч 50 мин–7 ч	нет	нет
Сочи–Туапсе	144,0	2 ч 50 мин–4 ч 30 мин	нет	3 ч 55 мин
Сочи–Сухум	122,0	2 ч–2 ч 40 мин	5 часов (1 п.)	7 ч 41 мин

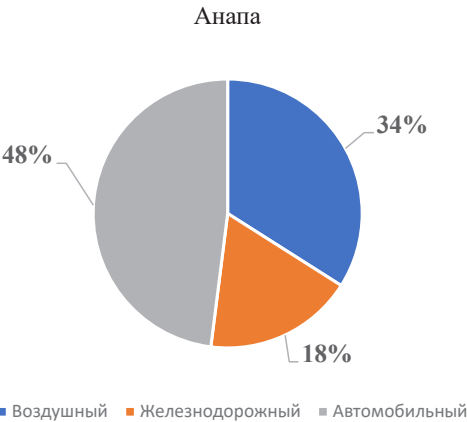


Рис. 1. Структура прибывающего туристического потока г. Анапы в разрезе используемых видов транспорта.

Анализ структуры пассажиропотоков в разрезе используемых видов транспорта показал, что доля туристов, прибывающих на Черноморское побережье воздушным транспортом, составляет в среднем 40 %. Если в Сочи доля воздушного транспорта в обслуживании туристического потока достаточно высока и составляет около 55,5 %, а остальная часть преимущественно приходится на железнодорожный транспорт – 39,1 %, то в городе Анапа ситуация выглядит иначе, рис. 1.

Большая доля автомобильного транспорта в обслуживании входящих туристических потоков г. Анапы обусловлена плохой транспортной связанностью курортов Черноморского побережья, железнодорожных станций и аэропортовой сети. Анализ расстояния и времени в пути между отдельными курортами Черноморского побережья и аэропортами, при использовании альтернативных видов транспорта, представлен в табл. 3. Расстояние до аэропорта Геленджик не рассматривалось в связи с очень незначительной его маршрутной сетью.

Из данной таблицы видно, что между большинством курортов побережья пассажирское автобусное сообщение отсутствует в принципе, а при наличии время в пути превышает 4 часа. Такая ограниченная транспортная доступность снижает мобильность туристов в пределах побережья и заставляет их использовать собственные автомобили для поездки на курорт. Большая доля личного автомобильного транспорта приезжающих туристов создаёт большую напряжённость на автомагистралях Кубани и Краснодарского края, а также увеличивает экологическую нагрузку на регион. Развитие транспортной связанности на побережье позволит не только решить эти проблемы, но и привлечь больший

поток туристов за счёт создания возможности легко перемещаться между курортами побережья, совершая различные обзорные туры, что особенно привлекательно для иностранных туристов.

Анализ мирового опыта развития транспортной связанности прибрежных курортных зон

Курортные территории морских берегов во всём мире отличаются ориентацией на обслуживание туристических потоков. Некоторые из них являются курортами национального значения, другие привлекают туристов со всего мира. Обслуживание туристического потока курортных зон осуществляется как правило всеми располагаемыми видами транспорта. При этом особое значение отводится воздушному транспорту, так как он позволяет наиболее быстро добраться до курорта и больше времени провести на отдыхе. Все аэропорты можно разделить на две группы: аэропорты-хабы, предоставляющие большое количество услуг и обслуживающие внутренние, континентальные и межконтинентальные перевозки пассажиров и грузов с равномерно распределённым пассажиропотоком в течение года; региональные аэропорты, соединяющие регионы с центрами экономической активности, имеющие сезонные пики и спады пассажиропотока [4; 5].

Аэропорты, обслуживающие курортные зоны, имеют ярко выраженную сезонность пиковых нагрузок пассажиропотока [6]. Сезонность загрузки влияет на окупаемость постоянных затрат. Решением данной проблемы является увеличение доходов в пиковые нагрузки за счёт увеличения пассажиропотока. Одним из основных решений данной проблемы в мировой практике является расширение маршрутной сети курортных аэропортов за счёт международных и внутренних сообщений [7; 8].

В рамках данного исследования мы рассмотрели опыт аэропорта Бари на северном побережье Италии и аэропорта Ливерпуль на северном побережье Англии. Для увеличения пассажиропотока было выбрано три направления: развитие связанности транспортной инфраструктуры (железнодорожное сообщение между аэропортом и городом); расширение связанности региона с крупными центрами (расширение маршрутной сети аэропорта); развитие транспортного узла (модернизация аэропорта и его пассажирского терминала). Развитие транспортной связанности позволи-

ло повысить индекс обеспеченности транспортной доступности аэропорта Бари. Модернизация аэропорта привела к увеличению его пропускной способности, в результате ежегодный пассажиропоток с 2001 по 2007 годы увеличился в 2 раза. Расширение маршрутной сети с крупнейшими центрами Западной и Восточной Европы позволило привлечь дополнительный туристический поток, который за рассматриваемый период увеличился на 62 % преимущественно за счёт прироста пассажиропотока из Северной Европы, использующего воздушный транспорт. Открытие новых маршрутов субсидировалось из национального и регионального бюджетов [9].

Ливерпуль не является морским курортом, но также обслуживает региональные туристические маршруты. Анализ опыта аэропорта Ливерпуль также показывает, что расширение маршрутной сети и развитие чартерных перевозок позволило резко увеличить пассажиропоток. Так если в 1997 году аэропорт обслуживал 3 направления, то в 2007 – 60 направлений. Годовой темп роста пассажиропотока за этот период составил 23,2 % против 5 % в общем по Великобритании. Структура пассажирских перевозок выглядит следующим образом: 63 % – международные бюджетные авиаперевозки, 16 % – внутренние бюджетные перевозки; 8 % – внутренние полно сервисные авиаперевозки; 1 % – внешние полно сервисные перевозки; 11 % – международные чартерные перевозки; 1 % – прочие [8].

Таким образом, можно выделить три наиболее значимых направления для увеличения пассажиропотока курортных аэропортов: модернизация аэропорта и увеличение пропускной способности; расширение внутренней и международной маршрутной сети; развитие транспортной связанности аэропорта с курортами побережья и транспортной инфраструктурой.

Направления развития маршрутной сети аэропортов и транспортной связанности курортов Черноморского побережья

Согласно Концепции федеральной целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 годы)» (утверждена Правительством Российской Федерации от 5 мая 2018 г. № 872-р), выделяются 15 перспективных туристских укрупнённых инвестиционных проектов, обладающих высоким потенциалом расширения туристского предложения по конкретным приоритетным



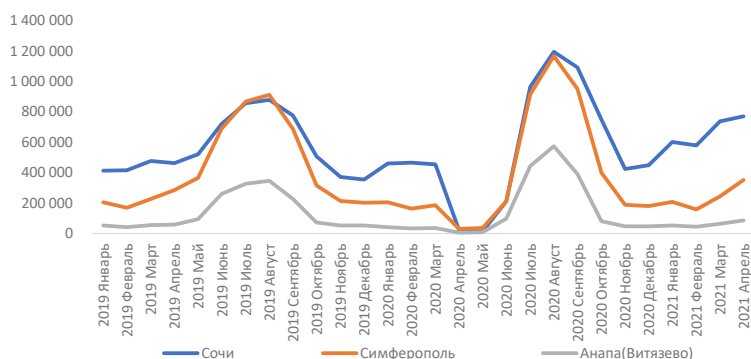


Рис. 2. Динамика пассажиропотока аэропортов Черноморского побережья России, чел.

видам туризма, в число которых входит проект «Черноморское побережье» [3]. Реализация проектов развития транспортной доступности и транспортной связанности Черноморского побережья России может быть проинвестирована в рамках данной программы.

У аэропортов Черноморского побережья пик пассажиропотока приходится на период с мая по октябрь. Исключение составляет аэропорт Сочи, расположенный вблизи горнолыжного курорта, Красная поляна, рис. 2.

Из данного графика видно, что общая тенденция пассажиропотока сохраняется во всех аэропортах. В 2020 году в связи с введением ограничений на международные полёты, туристический поток на Черноморском побережье в пиковый сезон увеличился во всех из рассматриваемых аэропортов, причём в августе он оказался практически на одном уровне в Симферополе и в Сочи. В 2020 году пассажиропоток аэропортов Симферополь, Анапа и Сочи составил соответственно 4,6, 1,8 и 6,5 млн чел. При этом пропускная способность аэропорта Симферополь составляет 6,5 млн чел. в год, аэропорта Анапы — 2,6 млн чел. в год, а Сочи — 9,3 млн чел. в год. Следовательно, пропускная способность рассматриваемых аэропортов не является сдерживающим фактором наращивания пассажиропотока в особенности за счёт нагрузки на непиковые сезоны.

Для увеличения пассажиропотока предлагается расширение маршрутной сети рассматриваемых аэропортов в крупные города России. Возможно открытие маршрутов из Сочи в города-миллионники Волгоград и Воронеж, из Симферополя — в Нижний Новгород и Самару, из Анапы — в Волгоград и в Челябинск. Также целесообразно открыть прямые чартерные рейсы в летний период в крупные города

Сибири и Дальнего Востока: Якутск, Хабаровск, Владивосток.

Второй, более серьёзной проблемой увеличения пассажиропотока аэропортов Черноморского побережья является плохая транспортная связанность [10]. В качестве решения данной проблемы предлагается развитие морского вида транспорта на основе судов на подводных крыльях. Отечественный и зарубежный опыт доказывает особую эффективность использования судов на подводных крыльях для обеспечения транспортной мобильности туристов не только на морских побережьях, но и для речных перевозок [11–13]. При использовании данного вида транспорта время в пути, например, от г. Феодосия до г. Анапа составит 1 ч. 50 мин., от г. Анапа до г. Сочи — 2 ч. 40 мин., а от г. Феодосия до г. Сочи — около 4 ч., что в 4 раза быстрее существующего автобусного сообщения. Реализация данного проекта будет иметь не только большое экономическое значение с точки зрения развития черноморских курортов и повышения привлекательности воздушного транспорта для их обслуживания, но и социальное значение. Потребность в инвестиционных затратах будет связана главным образом с приобретением самих судов, так как портовая инфраструктура для обслуживания местных морских перевозок в крупных городах-курортах побережья уже существует (Сочи, Геленджик, Анапа, Керчь, Феодосия, Ялта, Балаклава, Севастополь). Кроме того, суда на подводных крыльях позволят сократить время на переезд в Абхазию и создадут условия для повышения туристической мобильности внутри зоны побережья. Всё это помимо привлечения дополнительного туристического потока позволит сократить долю туристов, приезжающих на побережье на собственном автомобиле, снизить нагрузку на транспортные магистрали Краснодарского края и Кубани и улучшить экологическую ситуацию

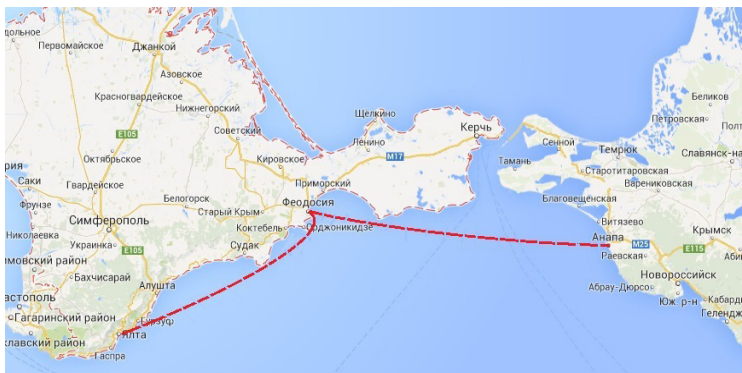


Рис. 3. Действующее морское сообщение между городами Черноморского побережья.

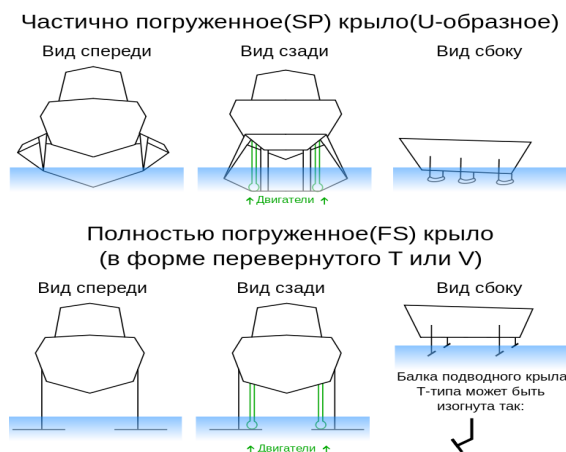


Рис. 4. Схема движения судна на подводных крыльях.

в регионе. В настоящее время есть возможность добраться по морю до различных курортов Черноморского побережья, например, ежедневно из Анапы ходят морские суда в Феодосию и Ялту. Протяжённость морских путей составляет 250 и 150 км соответственно. Но, так как эти рейсы являются экскурсионными, то их средняя скорость составляет 43 км/ч. Время в пути от Анапы до Феодосии составляет 3,5 ч, рис. 3 [14].

Преимущество судов на подводных крыльях заключается в том, что они поддерживаются над водной поверхностью при помощи сил гидродинамики, возникающих на подводных крыльях, рис. 4.

Крылья, находящиеся под корпусом морского судна, создают подъёмные силы, которые поднимают данное судно над поверхностью морской воды, что приводит к значительному уменьшению сопротивления движению. Это позволяет данному типу судов развивать скорость, которая для теплоходов является недостижимой. Экономически целесообразная скорость движения судна на подводных крыльях ограничена величиной около 100 км/ч [15].

Данное ограничение связано с проблемой кавитации – процесса образования пузырьков в водной среде, с последующим схлопыванием пузырьков и освобождении большого количества внутренней энергии, которая возникает как следствие внешних физических воздействий. Кавитация подводного крыла резко снижает гидродинамические характеристики данного судна [16; 17].

Суда на подводных крыльях на сегодняшний день широко используются в ряде стран Европы. Например, эти суда активно курсировали между Калининградом и польскими городами Фромборк и Эльблонг. В основном данная линия эксплуатировалась польской стороной. В Азии самая популярная морская линия соединяет корейский город Пусан и японский город Фукуока. По этой линии за день совершается пять рейсов [18; 19]. Положительный опыт эксплуатации судов на подводных крыльях для транспортного обслуживания морских побережий доказывает необходимость поэтапного внедрения данного типа судов в постоянную работу морских вокзалов.





КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

На основе проведённого анализа международного и российского опыта определены основные тенденции развития транспортной доступности курортов Черноморского побережья в целях повышения мобильности населения, развития туризма и создания для него более комфортных условий. Определена перспективность развития воздушного сообщения и связанности курортов прибрежной зоны водным транспортом в целях снижения экологической нагрузки за счёт переориентации туристов с использования личного автотранспорта, предложены направления для открытия новых маршрутов из трёх региональных аэропортов. Для решения проблемы транспортной связанности предложено развитие морского сообщения с применением судов на подводных крыльях, которые позволят повысить мобильность туристов внутри зоны побережья и привлечь дополнительный туристический поток.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Статистика и динамика развития туристско-рекреационной системы региона: Краснодарский край: Монография / коллектив авторов; под ред. Д. В. Максимова. – Краснодар: Кубан. гос. ун-т; Просвещение-Юг, 2016. – 184 с.
2. Кормишов А. Ю., Левченко Т. П. Особенности развития активных видов туризма в Краснодарском крае // Теоретическая и прикладная экономика. – 2020. – № 3. – С. 11–21. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.3.32968.
3. Бранзия Р. Л. Организация скоростного железнодорожного пассажирского сообщения в направлении Юга России как один из векторов развития туристического потенциала // 26-е заседание открытого межвузовского научно-практ. семинара «Экономика железнодорожного транспорта», Москва 25 мая 2021 года. Институт экономики и регулирования инфраструктурных отраслей НИУ ВШЭ. [Электронный ресурс]: <https://ur.hse.ru/data/2021/05/20/1434675973/%D0%90%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf>. Доступ 15.09.2021.
4. Beifert, A. Business development models for regional airports – case studies from the Baltic Sea region. Journal of security and sustainability issues, 2015, Vol. 5, Iss. 2. DOI: [http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2\(6\)](http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2(6)).
5. Postorino, M. N. Development of region airports: Theoretical analysis and case study. Southampton: WIT Press, 2010, 192 p.
6. Иванов В. Н. Об аэропортах России // Пространство и время. – 2013. – № 3 (13). – С. 118–122.
7. Regional Airport Case Study. Liverpool John Lennon Airport. European Commission Directorate General for

Regional Policy Evaluation unit. London: Steer Davies Gleave, 2009. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/pdf/expost2006/wp5a_airports_case_en.pdf. Доступ 15.09.2021.

8. Banno, M., Mutinelli, M., Redondi, R. Air Connectivity and Foreign Direct Investments. The economic effects of the introduction of new routes. University of Brescia, 2011, pp. 355–363.

9. Regional Airport Case Study. Bari. [Электронный ресурс]. Italia: European Commission Directorate General for Regional Policy Evaluation unit, 2009. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/pdf/expost2006/wp5a_airports_case_en.pdf. Доступ 15.09.2021.

10. Sellner, R., Naglb, P. Air accessibility and growth. The economic effects of a capacity expansion at Vienna International Airport. Journal of Air Transport Management, 2010, Vol. 16, pp. 325–329.

11. Никитина А. Ю., Уртминцев Ю. Н. Обоснование сферы рационального использования скоростных судов на подводных крыльях // В сб.: «Транспорт: проблемы, цели, перспективы (TRANSPORT 2021). Материалы II Всероссийской научно-техн. конференции с международным участием» / Под ред. Е. В. Чабановой. – Пермь, 2021. – С. 618–622.

12. Домнина О. Л., Иванов М. В., Митрошин С. Г., Исанин К. А. Обоснование организации высокоскоростных водных перевозок пассажиров в Приволжском Федеральном округе // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 57. – С. 191–199.

13. Передерий М. В., Гасанов Б. Г., Веренцова Е. А. Морские и речные перевозки, как вектор развития транспортной системы региона // В сб.: «Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление» / Сб. научных трудов II международной научно-практ. конференции. – 2018. – С. 26–29.

14. Лутин А. Н. Развитие транспортной связанности между курортными аэропортами юга России // В сб.: «Реформы в России и проблемы управления-2020. Материалы 35-й Всероссийской научной конференции молодых учёных» / Сб. докладов обучающихся по программам магистратуры. – 2020. – С. 177–181.

15. Мухина М. Л. Ходовые характеристики и проблема уменьшения расходов топлива у судов на подводных крыльях // Транспортные системы. – 2018. – № 4 (10). – С. 37–42.

16. Андрианов Л. В., Мухина М. Л. Судя на подводных крыльях на переломном этапе своей истории // Морской вестник. – 2013. – № 4 (48). – С. 040–044.

17. Болотин А. А. Расчётные исследования управляемости судов на подводных крыльях // Транспортные системы. – 2017. – № 2 (5). – С. 23–29.

18. Любимов В. И., Роннов Е. П., Малышкин А. Г., Барышев В. И. Современное состояние, тенденции развития и коммерческого использования скоростных судов // Судостроение. – 2019. – № 5 (846). – С. 13–18.

19. Каминский В. Ю., Скороходов Д. А., Стариченков А. Л. Анализ и перспективы развития скоростных судов // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 3-1 (41). – С. 10–20. ●

Информация об авторах:

Полешкина Ирина Олеговна – доцент, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте Московского государственного технического университета гражданской авиации, Москва, Россия, ipoleshkina@mail.ru.

Лутин Аркадий Николаевич – студент магистратуры Московского государственного технического университета гражданской авиации, Москва, Россия, lutinarkady@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 07.07.2021, одобрена после рецензирования 04.09.2021, принята к публикации 04.10.2021.



Особенности формирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования в моногородах России на примере города Нижнекамск



Валерий МЯЧИН



Ленар АХМЕТОВ



Владимир ШУЛЯЕВ



Михаил КОНДРАШКИН

**Валерий Николаевич Мячин¹, Ленар Раилевич Ахметов²,
Владимир Витальевич Шуляев³, Михаил Геннадьевич Кондрашкин⁴**

^{1, 3, 4} Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия.

² Исполнительный Комитет Нижнекамского муниципального района по экономическому развитию и проектному управлению, г. Нижнекамск, Россия.

✉ ¹ vmtyachin@ipr.ru.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития транспортных систем городов является совершенствование общественного транспорта общего пользования. Удобные маршруты общественного транспорта в сочетании с современным подвижным составом и развитой транспортной инфраструктурой позволяют решать большинство транспортных проблем и обеспечивать высокую мобильность жителей и гостей города.

Целью исследования, основные положения которого изложены в данной статье, является построение эффективной городской пассажирской транспортной сети общего пользования в моногородах России для обеспечения устойчивости функционирования пассажирского транспорта общего пользования. В статье приводится один из вариантов

решения проблемы функционирования общественного транспорта в городах с градообразующими предприятиями.

В таких городах (с ярко выраженными градообразующими предприятиями) очень часто существуют две взаимоисключающие сети транспорта, а именно, муниципальная и заказная (вахтовая). В результате заказные маршруты неоптимальные, муниципальные перевозчики несут убытки, транспортные предприятия не выполняют расписание, переходят на менее вместительный тип подвижного состава, как результат – люди недовольны работой общественного транспорта в городе.

В статье предлагается для решения этих проблем объединить муниципальную и заказную сети в единую транспортную сеть города.

Ключевые слова: общественный транспорт, моногород, вахтовые маршруты, промышленная зона.

Для цитирования: Мячин В. Н., Ахметов Л. Р., Шуляев В. В., Кондрашкин М. Г. Особенности формирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования в моногородах России на примере города Нижнекамск // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 91–98. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-11>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в различных странах мира большое внимание уделяется перспективам развития общественного транспорта в городах. Российская Федерация в этом плане – не исключение.

За последние годы значительно изменилась структура спроса на пассажирские перевозки. Это обусловлено процессами социально-экономического развития, которые вызвали появление новых объектов и зон притяжения пассажиропотоков, включающих промышленные, торговые, развлекательные, туристические, спортивные и деловые центры, так и изменениями в поведении постоянных жителей и гостей городов, влияющими на количество и цели поездок.

В Российской Федерации, как, наверное, и во всех странах, транспортная система должна не только выполнять социальную функцию, но и приносить прибыль или быть рентабельной. Однако во всех развитых странах общественный транспорт является убыточным. Реальные доходы общественного транспорта по сравнению с расходами на него составляли не так давно в Швейцарии – 72 %, Великобритании – 68 %, Италии – 30 %, Нидерландах – 22 % [1].

Среди всех городов России в отдельную группу, заслуживающую специального рассмотрения, можно выделить так называемые «моногорода» с наличием крупного градообразующего предприятия.

В данной статье в соответствии с целью исследования представлен вариант развития общественного транспорта в моногородах России, описаны основные проблемы развития городского пассажирского транспорта в российских моногородах на примере города Нижнекамск, а также даны предложения по построению новой эффективной городской пассажирской транспортной сети общего пользования, обеспечивающей устойчивое функционирование пассажирского транспорта общего пользования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Создание эффективной транспортной системы города в Российской Федерации, как и во всех странах мира, – это сложная комплексная проблема, включающая ряд задач, среди которых можно выделить: определение маршрутов движения городского пассажирского транспорта (ГПТ) [2], обоснование

типа, вида и количества подвижного состава по каждому маршруту, разработка расписания и финансовой модели проекта и т. д. [3].

Решения по оптимизации маршрутных сетей в различных городах России принимаются по-разному, в зависимости от специфики того или иного города, от состояния и развития транспортной инфраструктуры, городского общественного транспорта и других факторов.

Особый кейс связан с «моногородами». Понятие «моногород» или «монопрофильный город» подразумевает населённый пункт, который зависит от одного крупного предприятия или нескольких в плане трудоустройства населения. Такие предприятия также известны как «градообразующие». Подобная организация расселения получила широкое распространение при СССР и сохраняется до сегодняшнего дня. Моногорода обеспечивают оптимальное развитие территорий различного уровня. Они функционируют в условиях повышенного социально-экономического риска: в те периоды, когда наблюдается подъём экономики, моногорода обеспечивают рост и развитие производства, однако в условиях кризиса первыми становятся его «жертвами» [4].

В зарубежной практике также встречаются моногорода. В США, например, можно выделить город Мейнард штата Массачусетс. Изначально в городе располагалась градообразующая швейная фабрика, а далее в результате трансформации швейной фабрики город стал штаб-квартирой крупнейшего в мире производителя компьютеров [5]. В Канаде к таким городам можно было отнести Forges Saint Maurice или Garden Island. Однако стоит отметить, что опыт построения моногородов в других странах в целом был негативным.

Одним из ярких представителей моногородов в России в настоящее время является Нижнекамск, на территории которого находится промышленная зона, в которой расположены градообразующие предприятия группы компаний «Татнефть» и нефтехимической компании компания «Сибур-холдинг».

При анализе существующей ситуации в сфере общественного транспорта было выявлено, что в городе параллельно работают две системы:

- Первая система транспорта осуществляет работу исключительно в жилых районах, это так называемые «городские маршруты». Дан-

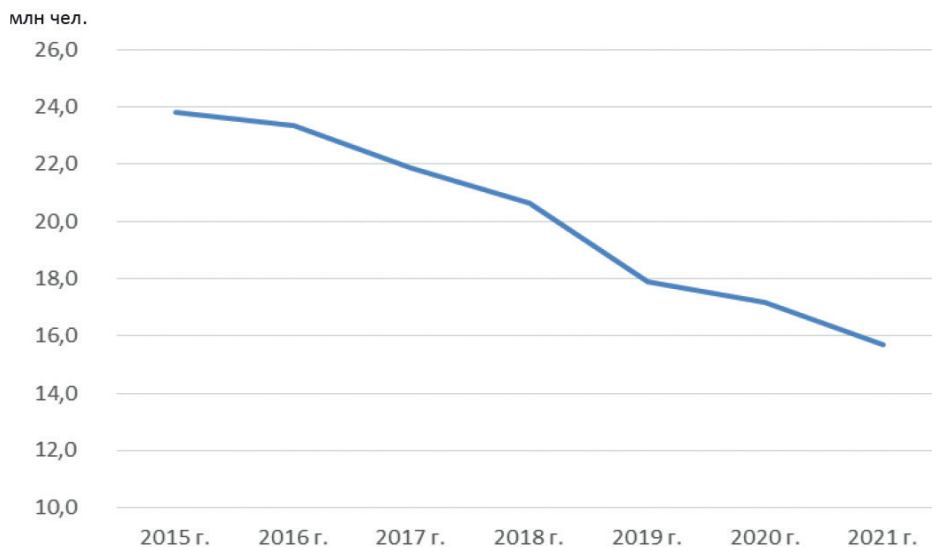


Рис. 1. Уровень пассажиропотока в городе Нижнекамск (2015–2021 гг.) (выполнено авторами по данным, предоставленным Исполнительным Комитетом Нижнекамского муниципального района).

ная система представлена четырьмя трамвайными и десятью автобусными маршрутами.

- Вторая система транспорта осуществляет доставку работников в промышленную зону, это так называемые «вахтовые маршруты». Данная система представлена тремя трамвайными и 67 автобусными маршрутами.

Каждая система решает собственные задачи и не учитывает особенности и положительные стороны другой системы.

Система городских маршрутов достаточно развита в жилых районах. Автобусные маршруты проходят практически по всем улицам города. Трамвайные маршруты пролегают по основным магистральным улицам и связывают важнейшие направления в городе.

Система вахтовых маршрутов не является оптимальной, так как каждое предприятие заказывает маршруты для своих нужд у сторонних предприятий, и наблюдается повышенный уровень дублирования с маршрутами других предприятий. По сути предприятия платят за одни и те же маршруты, при этом общее количество транспорта является избыточным.

Вахтовые маршруты для всех пассажиров являются бесплатными, для жителей города – это большой плюс, так как при совпадении трассы городского и вахтового маршрута у жителей города есть возможность воспользоваться бесплатным вахтовым маршрутом на небольшом расстоянии внутри города и не платить за городской общественный транспорт.

Очевидно, что при таком совпадении жители города выбирают бесплатные (вахтовые) маршруты. Однако если пути следования жителей города не совпадают с вахтовыми маршрутами, им приходится ждать и пользоваться только городским общественным транспортом.

В связи с тем, что городские маршруты недозагружены в часы пик из-за оттока пассажиров на вахтовые маршруты, городские перевозчики вынуждены увеличивать интервалы движения, менять тип подвижного состава, переходя на менее вместительный.

В настоящее время, средний интервал движения городского автобусного пассажирского транспорта составляет около 45–60 минут, что для города Нижнекамск является неприемлемым.

В результате, за последние годы объем пассажиропотока на общественном транспорте в жилой зоне упал более чем на 25 % и продолжает падать (рис. 1).

Основными задачами формирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования, как в моногородах, так и в других городах России, являются:

- системный анализ [6] работы маршрутной сети города;
- организация и проведение обследований пассажиропотоков на маршрутах пассажирского транспорта;



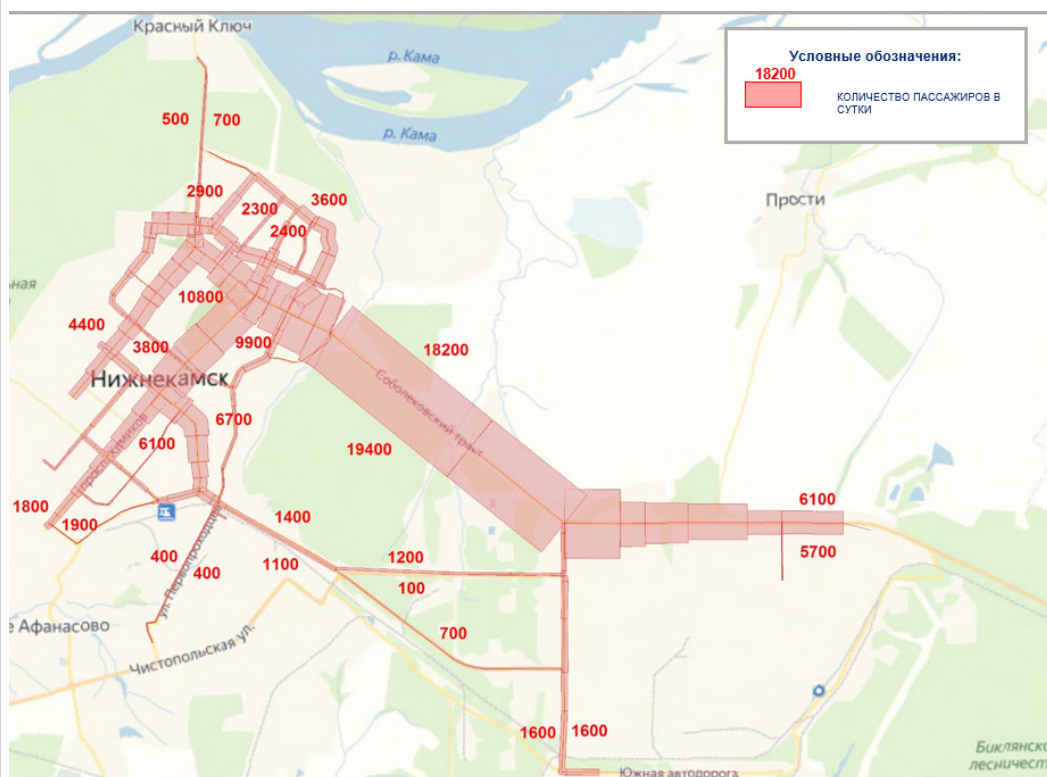


Рис. 2. Количество перевезённых пассажиров в сутки в сечениях (выполнено авторами по результатам транспортных обследований 2019 г.).

- организация и проведение социологического опроса для выявления транспортных потребностей и проблем транспортного обслуживания населения;

- формирование предложений по созданию эффективной системы пассажирского транспорта общего пользования;

- разработка транспортной модели проекта;

- разработка финансовой модели проекта;
- подготовка плана внедрения новой маршрутной сети.

На начальном этапе необходимо провести анализ работы маршрутной сети города. В отличие от прочих городов России, в моногородах необходимо провести анализ работы не только муниципального, но и заказного (вахтового) транспорта, так как значительная доля перевозок будет приходиться на перевозки работников градообразующих предприятий на работу и обратно.

Далее необходимо провести обследование пассажиропотоков на маршрутах муниципального и заказного транспорта для более детального анализа сложившейся ситуации в транспортной отрасли города.

Транспортные обследования возможно проводить как на остановочных пунктах, так и внутри подвижного состава с помощью датчиков входа и выхода пассажиров либо с помощью учётчиков, а также можно использовать комбинированный метод обследования.

В настоящее время общественный транспорт в основном не оборудован датчиками входа и выхода пассажиров, а привлечение учётчиков требует большого количества людей. В связи с этим наиболее предпочтительным является комбинированный метод проведения обследования.

Комбинированный метод проведения обследования менее затратный, чем метод проведения обследования внутри подвижного состава, а качество полученных данных о пассажиропотоке достаточно для анализа, принятия решений и планирования развития пассажирского транспорта в перспективе.

При проведении визуального обследования на остановочных пунктах, фиксируется весь пассажирский транспорт, в том числе заказной и нелегальный. Учётчики визуально определяют наполнение транспортного

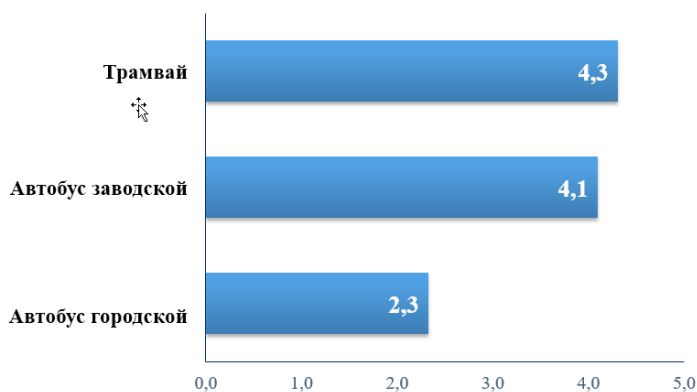


Рис. 3. Оценка качества работы пассажирского транспорта (составлено авторами по результатам социологического опроса 2019 г.).

средства по условной балльной таблице [7], а также число вошедших и вышедших пассажиров.

В моногородах обследования внутри подвижного состава также необходимо проводить как на муниципальных маршрутах, так и на маршрутах заказного транспорта.

Не все предприятия могут согласиться на то, чтобы в их подвижном составе устанавливались датчики входа и выхода пассажиров, либо в подвижном составе находился учётчик. Это может быть связано со многими факторами, в частности с тем, что развозка у предприятий осуществляется в автобусе только с сидячими местами, и наполняемость автобусов может составлять 100 %.

В таком случае необходимо проводить обследования на остановочных пунктах как в городской черте, так и в промышленной зоне.

Обследования на остановочных пунктах обычно проводятся в утренний, дневной и вечерний час пик.

В моногородах, в подавляющем большинстве, промышленные предприятия начинают работу раньше, чем предприятия, учреждения и социальные объекты в жилой зоне города. В таком случае следует учесть данную особенность и обследования проводить не в течение одного часа, а в течение нескольких часов, то есть пиковых часов, как в жилой, так и в промышленной зоне.

При определении остановочных пунктов обследования в промышленной зоне следует обратить внимание на остановочные пункты, расположенные в непосредственной зоне у проходных предприятий, и при возможно-

сти проводить обследования на них как на наиболее загруженных остановочных пунктах.

В Нижнекамске обследования проводились как внутри подвижного состава, так и на остановочных пунктах. Данные транспортные обследования показали, что основной пассажиропоток, что и можно было ожидать, наблюдается между городом и промышленной зоной (рис. 2).

При проведении опроса для данного исследования главной особенностью было то, что следовало проинтервьюировать пользователей как муниципального транспорта, так и заказного. Это необходимо для получения актуальных и объективных сведений. При опросе, например, только пользователей муниципального транспорта можно получить большое количество негативных отзывов, а при опросе пользователей только заказного транспорта – в основном положительные ответы.

Согласно проведённому социологическому опросу, население города Нижнекамск довольно работой трамваев и вахтовых автобусов и не удовлетворено работой городских автобусов (рис. 3).

Главными проблемами в работе Нижнекамского городского автобусного транспорта являются несоблюдение расписания и большие интервалы движения.

Респондентам также был задан вопрос: «При каких обстоятельствах Вы готовы пересесть с личного на общественный транспорт?». Около 40 % опрошенных ответили, что готовы пересесть на общественный транспорт при условии улучшения его работы (рис. 4).



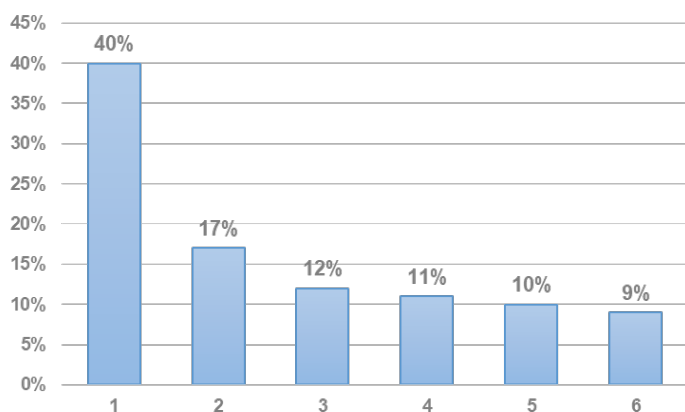


Рис. 4. Выбранные из предложенных варианты ответов на вопрос об условиях пересадки на общественный транспорт (составлено авторами по результатам социологического опроса 2019 г.):

- 1 – При улучшении работы общественного транспорта.
- 2 – Ни при каких обстоятельствах.
- 3 – Другие условия.
- 4 – Время в пути на машине начнёт превышать время в пути на общественном транспорте.
- 5 – Вырастет стоимость бензина.

Таким образом, опрос показал, что почти половина населения города готова пересесть на общественный транспорт при нормализации его работы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основу доходной части пассажирских перевозок во всех городах Российской Федерации составляют поездки с трудовыми целями, а именно поездки на работу и обратно. Доходной части от социальных перевозок обычно недостаточно для оплаты капитальных затрат [8].

Для большинства моногородов ещё одной особенностью является то, что основу пассажирских перевозок составляют поездки в промышленную зону, и все они осуществляются не муниципальными, а заказными-вахтовыми маршрутами. Например, в Нижнекамске их доля достигает половины всех перевозок в городе.

Кроме того, большинство предприятий доставляет своих сотрудников до места работы в автобусах с мягкими сидячими местами. Промышленная зона, как правило, находится либо в черте города, либо на незначительном расстоянии от него (порядка 10 км). При средней скорости автобусов в 25–30 км/час время в пути занимает не более 20–25 минут в одну сторону, что является приемлемым для организации движения на городских автобусах со стоячими местами.

В результате муниципальный транспорт несёт колоссальные убытки в сотни миллионов рублей.

Таким образом, основная идея построения эффективной системы работы пассажирского транспорта в моногородах может заключаться в объединении вахтовой и городской сетей в единую систему пассажирского транспорта общего пользования с целью повышения эффективности работы общественного транспорта и его привлекательности для пассажиров за счёт качества предоставляемых услуг [9].

В результате вполне возможно наладить работу городского пассажирского транспорта без ухудшения работы заказных-вахтовых маршрутов, причём это не потребует дополнительных вложений как со стороны градообразующих предприятий, так и со стороны бюджета города.

В результате такого объединения сетей вахтовых и муниципальных маршрутов будут снижены пробеги подвижного состава; уменьшено общее количество транспортных средств на городских улицах; увеличено количество пассажиров; снижены количество рейсов и себестоимость перевозок, вследствие чего будет достигнута прибыльность муниципальных перевозок.

В настоящее время в администрации г. Нижнекамск совместно с ПАО «Татнефть» ведётся работа по реализации проекта по внедрению новой оптимизированной маршру-



путной сети. Уже создан и начал работу «Центр диспетчеризации и организации пассажирских перевозок», завершена разработка транспортной и финансовой модели проекта, проработан механизм взаимодействия с оператором «Социальная карта», а также взаиморасчётов заказчиков и исполнителей. Кроме того, запущен тестовый автобусный маршрут в промышленную зону, работающий без кондуктора, с установленными терминалами для оплаты проезда и камерами для подсчёта пассажиров.

Для успешного и устойчивого функционирования новой маршрутной сети необходимо дополнительно выполнить ещё ряд мероприятий:

- создать структуру организатора перевозок, которая будет выполнять функции планирования, мониторинга и контроля выполнения городских пассажирских перевозок;
- ввести единый тариф для новой транспортной сети;
- создать единого оператора автоматической оплаты проезда;
- изменить организацию дорожного движения на ряде перекрестков города;
- организовать выделенную полосу на пути следования к промышленной зоне.

Данные предложения могут быть дополнительно обоснованы.

Так, одним из основных условий функционирования новой маршрутной сети является

введение единого тарифа на всех маршрутах общественного транспорта и организация единого оператора автоматической оплаты проезда. При организации единого оператора необходимо создание системы автоматизированной оплаты проезда и оснащение транспорта необходимым оборудованием.

Главными преимуществами при создании структуры организатора перевозок являются:

- мониторинг и контроль исполнения муниципальных контрактов на пассажирские перевозки;
- оперативное управление пассажирскими перевозками;
- разработка комплексных предложений по развитию городского пассажирского транспорта;
- предоставление информационных услуг.

Одним из плюсов данной системы является введение универсального билета, которым можно будет воспользоваться как в вагоне автобуса, так и на муниципальных маршрутах внутри города.

Кроме того, плюсами будет то, что город сможет оптимизировать расходы на общественный транспорт, а перевозчики смогут оснастить транспортные средства бортовыми устройствами для подсчёта пассажиропотока, а, следовательно, смогут контролировать оплату проезда и повысить выручку предприятия.

Промышленная зона Нижнекамска находится на незначительном расстоянии от горо-





да, порядка десяти километров. При возникновении нештатных ситуаций, таких как дорожно-транспортные происшествия, ремонт дорог и т.д., на подъезде к промышленной зоне образуются пробки. Для повышения привлекательности общественного транспорта перед личным предлагается организация выделенной полосы до промышленной зоны города. Организация выделенной полосы – очень эффективный метод обеспечения безопасности движения, способствующий существенному уменьшению задержек и повышению пропускной способности проезжей части [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При реализации данного варианта развития основным положительным итогом для населения станет сокращение времени поездок и ожидания, что повысит доступность общественного транспорта и качество обслуживания пассажиров.

Положительными сторонами для города будет возможность осуществление мониторинга и управления работой общественного транспорта в режиме реального времени, улучшение экологической ситуации, снижение нагрузки на бюджет города и, как следствие, повышение привлекательности города в целом.

Для перевозчиков неоспоримыми плюсами станут увеличение прибыли от перевозок, уменьшение себестоимости и повышение приоритета общественного транспорта.

Предприятия промышленной зоны в результате сэкономят денежные средства, а также повысят качество услуг. Кроме того, это скажется и на имидже компаний, так как население города, увидит, что руководство предприятий реально заботится не только о своих сотрудниках, но и о членах их семей и жителях всего города.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гукетлев Ю. Х., Ткачева Я. С., Гукетлев Э. Ю. Зарубежный опыт развития городского пассажирского транспорта // Новые технологии. – 2016. – № 4. – С. 27–32. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28096758>. Доступ 18.10.2021.
2. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с. ISBN 978-5-9227-0266-9. [Электронный ресурс]: https://www.spbgasu.ru/documents/docs_231.pdf. Доступ 18.10.2021.
3. Мартынова Ю. А. Формализация задачи организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Науковедение. – 2014. – № 6. – С. 1–13. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalizatsiya-zadachi-organizatsii-marshrutnyh-setey-gorodskogo-passazhirskogo-transporta/viewer>. Доступ 18.10.2021.
4. Ищенко А. И. Особенности моногородов Российской Федерации и их основные проблемы // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2021. – № 2. – С. 142–147. [Электронный ресурс]: <https://sciff.ru/osobennosti-monogorodov/>. Доступ 18.10.2021.
5. Mullin, J., Armstrong, J., Kavanagh, J. From Mill Town to Mill Town: The Transition of a New England Town from a Textile to a High-Technology Economy. Journal of the American Planning Association, 1986, Vol. 52, pp. 47–59. [Электронный ресурс]: https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=larp_faculty_pubs. Доступ 18.10.2021.
6. Ларин О. Н. Организация пассажирских перевозок: Учеб. пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 104 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/larin-on-organizaciya-passazhirskih-perevozok_647d49b702d.html. Доступ 18.10.2021.
7. Петрова Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – № 1. – С. 47–57. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Доступ 18.10.2021.
8. Лебедева О. А., Гозбенко В. Е., Каргапольцев С. К. Оптимизация транспортной сети с учётом оценки качества услуг общественного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 1. – С. 112–118. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).112-118.
9. Wetzel, D. Innovation ways of financing public transport. World Transport Policy & Practice, 2006, Vol. 12, No. 1, pp. 40–46. [Электронный ресурс]: <http://www.ecologica.co.uk/pdf/WTPP12.1.pdf>. Доступ 18.10.2021.
10. Жиркова А. А., Басов К. А., Ивлев В. Ю., Титова П. А. Обоснование введения выделенных полос для маршрутного пассажирского транспорта // Евразийский союз учёных. – 2016. – № 1-2. – С. 52–55. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471360>. Доступ 18.10.2021.

Информация об авторах:

Мячин Валерий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, vmychin@ipr.ru.

Ахметов Ленар Раилевич – заместитель руководителя Исполнительного Комитета Нижнекамского муниципального района по экономическому развитию и проектному управлению, Нижнекамск, Россия, ahmetov.lenar@tatar.ru.

Шуляев Владимир Витальевич – заместитель генерального директора – руководитель департамента транспортных систем Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, vs@ipr.ru.

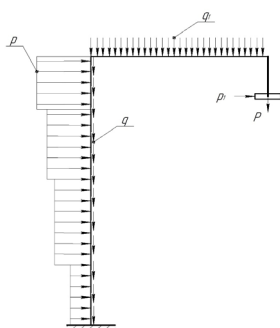
Кондрашкин Михаил Геннадьевич – руководитель проектного направления пассажирских перевозок и грузовой логистики Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (ООО «НИПИ ТРТИ»), Санкт-Петербург, Россия, mg@ipr.ru.

Статья поступила в редакцию 18.09.2021, одобрена после рецензирования 15.10.2021, дополнена 01.11.2021, принята к публикации 05.11.2021.

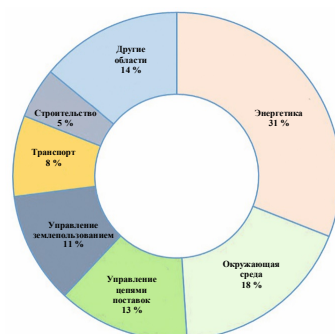


ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО 100

Башенные краны подвержены ветровой нагрузке и это может привести к серьёзным последствиям. Предлагаются расчётные схемы, учитывающие изменение интенсивности ветровой нагрузки по высоте крана, его случайный характер, риски продольных, крутильных и изгибных колебаний.

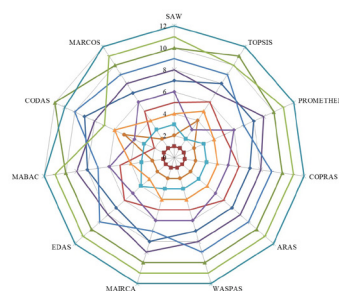


БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ



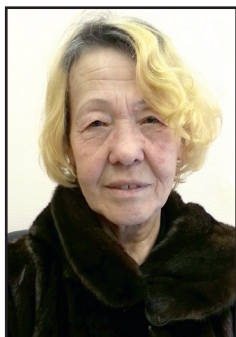
«ЗЕЛЁНАЯ» ЛОГИСТИКА 105

Логистика должна отвечать целям устойчивого развития, этому должны служить новые организационные технологии. Сложные модели принятия решений для управления цепями поставок могут быть основаны на применении многокритериальных методов принятия решений (MCDM).

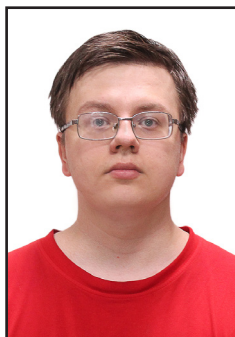




Исследование характера нагружения металлоконструкций башенного крана



Любовь СЛАДКОВА



Филипп КУЗНЕЦОВ

*Любовь Александровна Сладкова¹,
Филипп Александрович Кузнецов²*

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

✉ ¹ rich.cat2012@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Проведённый анализ аварийности крановых конструкций свидетельствует о том, что одной из самых распространённых причин аварий башенных кранов является ветровая нагрузка. Учёт ветровой нагрузки на крановые конструкции проводится в рабочем и нерабочем состояниях. В рабочем состоянии учитывается предельная ветровая нагрузка, при которой обеспечивается эксплуатация крана с номинальным грузом. В нерабочем состоянии расчёт проводится с учётом коэффициента, учитывающего изменение динамического давления в зависимости от высоты расположения от поверхности земли данного элемента конструкции в нерабочем и рабочем состояниях крана. Однако в нормативных документах, как правило, не учитывается случайный характер действия ветровой нагрузки, хотя материалы исследований изменения скорости ветра (порывов), приведённые в научнотехнической литературе, свидетельствуют о периодичности их действия.

Цель исследования: изучить характер нагружения конструкций башенного крана, что позволит оценить изменение колебательного процесса в элементе металлоконструкции крана от действия ветровой нагрузки.

Ключевые слова: транспортное строительство, нагружение металлоконструкций, башенный кран, ветровая нагрузка, нагруженность, колебательный процесс.

В предлагаемой в статье расчётной схеме были учтены изменение интенсивности ветровой нагрузки по высоте крана и случайный характер её изменения, которые в совокупности ведут к возникновению продольных, крутильных и изгибных колебаний. Колебания металлоконструкции крана рассматривались авторами как колебания осциллятора с заданными параметрами амплитуды колебаний, массами системы (стрела и башня), весом поднимаемого груза. При этом учитывалось механическое состояние системы: жёсткость и упругость.

Теоретические исследования рассматриваемой системы проводились в двух вариантах: 1) как упруговязкая среда; 2) как континуальная система.

Полученные результаты позволили выявить физическую природу колебательного процесса и провести количественную оценку изменения нагружения металлоконструкций башенного крана.

Проведённые теоретические исследования позволили получить выражение, позволяющее оценить изменение колебательного процесса в элементе металлоконструкции крана от действия ветровой нагрузки, носящей случайный характер нагружения.

Для цитирования: Сладкова Л. А., Кузнецов Ф. А. Исследование характера нагружения металлоконструкций башенного крана // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 100–104. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-12>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Башенные краны широко используются в транспортном строительстве при возведении объектов инфраструктуры.

При этом по статистике Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Российской Федерации¹ наибольшее число аварий, связанных с грузоподъемной техникой, приходится именно на башенные краны. Например, за 2020 год при эксплуатации всех видов грузоподъемных сооружений было зафиксировано 53 аварии, из них наибольшее число случаев (11) пришлось на башенные краны. В результате погибло семь человек. По данным автора [1, с. 1] эта цифра составляет 82 %.

Самой распространённой причиной аварий башенных кранов является ветровая нагрузка. По данным Американского национального института стандартов (The American National Standards Institute (ANSI)), в десятилетний период с 2000 по 2010 год в мире произошло 1125 аварий с башенными кранами, в которых смертельные травмы получили 780 человек, 23 % этих аварий были вызваны высокой ветровой нагрузкой². На учёт фактора ветровой нагрузки для обеспечения безопасных условий работы указывают не только производители кранового оборудования, но и эксплуатанты техники, важность данного фактора подчёркивает сформировавшаяся ниша производителей специальной аппаратуры, обеспечивающей оповещение об опасном повышении значений скорости ветра³.

В России учёт ветровой нагрузки регламентирован ГОСТ 1451-77⁴ при расчёте металлических конструкций и механизмов, тормозов, при определении мощности двигателей, собственной и грузовой устойчивости крана. За ветровую нагрузку на кран в рабочем состоянии принимается предельная ветровая нагрузка, при которой обеспечивается эксплуатация крана

с номинальным грузом. В нерабочем состоянии расчёт проводится с учётом коэффициента, учитывающего изменение динамического давления в зависимости от высоты расположения от поверхности земли данного элемента конструкции в нерабочем и рабочем состояниях крана. Имеются международные и национальные нормы в других странах, например, в Австралии для мобильных кранов применяются стандарты AS 1418.5 и EN 13000 [2].

Тот же автор отмечает экономический эффект от правильного выбора модели крана, исходя из допустимой для неё ветровой нагрузки. Проведённые в одной из точек наблюдения показали, что использование крана, рассчитанного на ветровую нагрузку в 20 м/с, вместо крана с допустимым значением 12 м/с в течение года позволяет увеличить продолжительность рабочего времени на 342 % [2].

Существующая практика наблюдений за изменениями скорости ветра показывает, что она носит случайный характер изменения [3], что неизбежно приведёт к изменению нагружения элементов металлоконструкции крана [4]. В работе [5, с. 44–46] была отмечена среднестатистическая периодичность изменения ветрового порыва, равная 55–65 с, хотя другие материалы исследований [6, с. 32], проведённых в России и за рубежом, в среднем показывают 0,5–5 с, то есть данные отличаются на порядок.

По результатам более поздних исследований [5, с. 44–46], частота воздействия ветра на элемент конструкции будет равна 0,0182–0,0154 с⁻¹. Такой разброс не может не привести к изменению продольных, поперечных и крутильных колебаний металлоконструкции башенного крана. В результате внутренние усилия в рассматриваемых металлоконструкциях будут носить изгибные, крутильные и продольные колебания (см. рис. 1). Учитывая влияние на металлоконструкцию башенного крана как на систему от периодически возникающего порыва ветра и металлоконструкцию крана, представляющую собой систему, состоящую из стрелы, башни и груза, видно, что действие колебаний от веса поднимаемого, опускаемого или закреплённого груза, не исключает факт вхождения конструкции в околорезонансное состояние.

Для проверки данной гипотезы была поставлена *цель* исследовать колебательный процесс в конструкции крана и с помощью *методов* системного анализа и дифференциальных уравнений выявить характер колебательного процесса.

¹ Годовой отчёт о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2019 году. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2020.

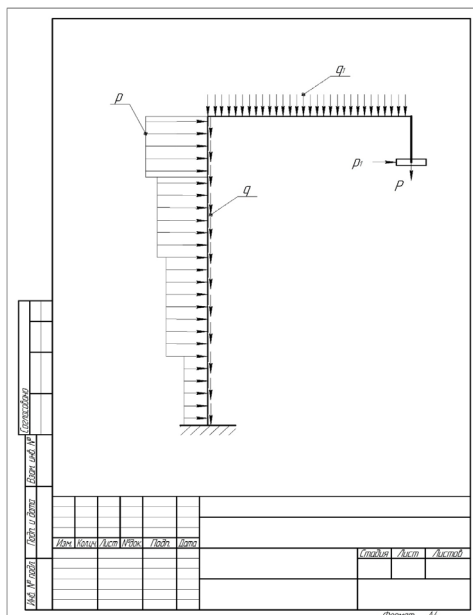
² Wind Conditions and Crane Safety. [Электронный ресурс]: <https://www.windcrane.com/anemometer-wind-crane>. Доступ 25.04.2021.

³ Zajicek, C. Effect of Wind Speed on Cranes. [Электронный ресурс]: <https://www.cranewarningsystemsatlanta.com/post/effect-of-wind-speed-on-cranes>. Доступ 25.04.2021.

⁴ ГОСТ 1451-77 Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. – М.: Госстандарт СССР, 1977. – 19 с.



Рис. 1. Нагрузки, действующие на кран (согласно ГОСТ 1451-77).



Нужно отметить наличие исследований, посвящённых описанию моделей воздействия ветровой нагрузки на операции, совершаемые кранами, в частности, на груз, переносимый поворотным автокраном [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим нагрузки, действующие на кран в первом приближении (см. рис. 1). Здесь q и q_1 – распределённая нагрузка от силы тяжести башни и стрелы, соответственно, Н; p и p_1 – давление ветра на башню и груз, соответственно, Н/м²; P – вес поднимаемого груза, Н.

При этом необходимо учитывать изменение интенсивности ветровой нагрузки по высоте крана и случайный характер её изменения. Её действие в совокупности с грузовыми характеристиками ведёт к возникновению продольных, крутильных и изгибных колебаний.

Колебания любой механической системы можно представить в виде колебаний осциллятора [8, с. 125; 5, с. 76].

Используя методику расчёта колебательных систем [10, с. 127], запишем колебания стрелы в виде дифференциального уравнения. Колебания стрелы:

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + h \cdot \frac{dy}{dt} + k \cdot y = f(t), \quad (1)$$

где y – амплитуда колебаний;

m – масса системы;

h – вязкость конструкции (коэффициент трения, пропорциональный скорости), который является аналогом упругости;

k – коэффициент жёсткости.

В соответствии с решением Эйлера [11, с. 282], общее решение уравнения (1) будем искать в виде:

$$y = c_1 \cdot y_1(t) + c_2 \cdot y_2(t), \quad (2)$$

где c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.

Составим характеристическое уравнение:

$$m \cdot r^2 + h \cdot r + k = 0.$$

Тогда уравнение (2) примет вид:

$$y = c_1 \cdot e^{i\omega t} + c_2 \cdot e^{-i\omega t} = r \cdot \cos(\omega t + \varphi). \quad (3)$$

Решение будем искать, используя полную энергию системы (кинетическую и потенциальную) [6, с. 321]:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot y^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left[m \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + k \cdot y^2 \right]. \quad (4)$$

Частота колебаний равна:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (5)$$

Подставив (3) в (4), получим, что полная энергия системы будет равна:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi) + \frac{1}{2} \cdot k \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot r^2 = \text{const}.$$

Учитывая упругость системы и используя (1) и (4), исследуем изменение полной энергии системы во времени путём дифференцирования уравнения (4).

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \frac{1}{2} \cdot \left[2 \cdot m \cdot \frac{dy}{dt} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \cdot k \cdot y \cdot \frac{dy}{dt} \right] = \\ &= \frac{dy}{dt} \cdot \left(-h \cdot \frac{dy}{dt} - k \cdot y \right) + k \cdot y \cdot \frac{dy}{dt} = -h \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right)^2. \end{aligned}$$

Полученный в результате знак « $\leftarrow$ » свидетельствует о затухании колебательного процесса в системе. Однако действие следующего порыва ветра неизбежно приведёт к суммированию колебаний, что может стать причиной её околорезонансного явления.

Решение вышеприведённого уравнения будет иметь вид [11, с. 326]:

$$y = c_1 \cdot e^{-at} + c_2 \cdot e^{-bt},$$

где a и b – корни характеристического уравнения.

Для определения коэффициентов c_1 и c_2 зададимся начальными условиями:

$$y|_{t=t_0} = y_0; \quad \frac{dy}{dt}|_{t=t_0} = v_0.$$

В случае если дискриминант характеристического уравнения удовлетворяет условию $D > 0$, то используя начальные условия, получим:

$$c_1 = \frac{b \cdot y_0 + v_0}{b - a} \cdot e^{at_0};$$

$$c_2 = \frac{a \cdot y_0 + v_0}{a - b} \cdot e^{bt_0}.$$

Рассмотрим схему, приведённую на рис. 1, как континуальную систему. Считаем, что полная энергия системы:

$$u = u_{\text{упр}} + u_{\text{внеш}} \quad (6)$$

где $u_{\text{упр}} = P \cdot \Delta l$.

Суммарное удлинение складывается из удлинений i -ых участков:

$$\Delta l_i = \frac{(y_{i+1} - y_i)^2}{2 \cdot h}, \quad (6^*)$$

где h – интервал варьирования.

Тогда:

$$u_{\text{упр}} = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2, \quad (7)$$

$$u_{\text{внеш}} = - \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (8)$$

Подставив (7) и (8) в (6), получим:

$$u = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2 - \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (9)$$

При равновесии системы в фиксированный промежуток времени (9) имеем:

$$\frac{\partial u}{\partial y_i} = 0. \quad (10)$$

А при отсутствии равновесия:

$$\frac{\partial u}{\partial y_i} \rightarrow \min, \quad (11)$$

т.е. необходима компенсирующая сила, возвращающая систему в положение равновесия. Правую часть уравнения (9) представим в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial y_i} &= \frac{P}{2 \cdot h} \cdot [2 \cdot (y_i - y_{i-1}) - 2 \cdot (y_{i+1} - y_i)] - F_i = \\ &= - \frac{P}{h} \cdot (y_{i+1} - 2 \cdot y_i + y_{i-1}) - F_i. \end{aligned}$$

В условиях стационарности:

$$\frac{P}{h} \cdot (y_{i+1} - 2 \cdot y_i + y_{i-1}) + F_i = 0. \quad (12)$$

Составим уравнение для двух соседних точек ($F_i = F$):

$$y_i = - \frac{(i-1) \cdot i}{2} \cdot \frac{h \cdot F}{P} + i \cdot y_1. \quad (13)$$

При $y_n = 0$ имеем:

$$y_i = - \frac{(n-1) \cdot i \cdot h \cdot F}{2 \cdot P}, \quad i = 1, 2, \dots, (n-1).$$

Очевидно, что в выражении (6*) величина:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{h} = y'.$$

Тогда (6*) перепишем в виде:

$$u_{\text{упр}} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P}{2} \cdot y'^2 - f_y \right] \cdot h = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P}{2} \cdot y'^2 - f_y \right] \cdot \Delta x.$$

При $h \rightarrow 0$ получим:

$$P \cdot y'' + f(x) = 0.$$

Или:

$$y'' = - \frac{1}{P} \cdot f(x). \quad (14)$$

Используя начальные условия, при $y(0) = 0$; $y(l) = 0$ функция $f(x) = f_0 = \text{const}$, тогда уравнение (14) будет иметь вид:

$$y' = - \frac{f_0}{P} \cdot x + c_1;$$

$$y = - \frac{f_0}{P} \cdot \frac{x^2}{2} + c_1 \cdot x + c_2.$$

С учётом начальных условий:

$$c_2 = 0;$$

$$c_1 = \frac{f_0}{P} \cdot \frac{l}{2}.$$

Откуда искомая функция будет иметь вид:

$$y = \frac{f_0 \cdot x \cdot (l - x)}{2 \cdot P}.$$

В случае действия упругой силы на преодоление сил упругости затрачивается работа:

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{y_i} (k \cdot y) dy = \sum_{i=1}^n \frac{k \cdot y_i^2}{2},$$

где k – коэффициент упругости.

Тогда выражение (6) будет иметь вид:

$$u = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2 + \frac{k}{2} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (15)$$

Однако учитывая расчётную схему башенного крана, состояние последнего в случае нагружения изменяется двумя параметрами x и y , которые изменяются во времени взаимосвязанными функциями вида:



$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t). \end{cases} \quad (16)$$

Изменение этих функций во времени происходит со скоростью:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y). \end{cases} \quad (17)$$

Начальные условия для решения системы дифференциальных уравнений (17) определим из условия равновесия системы – упругой деформации, т.е.:

$$\begin{aligned} y|_{t=0} &= y_0; x|_{t=0} = x_0; \\ \dot{y}|_{t=0} &= 0; \dot{x}|_{t=0} = 0, \end{aligned}$$

т.е.:

$$\begin{cases} P(x_0, y_0) = 0 \\ Q(x_0, y_0) = 0. \end{cases}$$

При ветровой нагрузке перемещение точек системы будет равно:

$$\begin{cases} x(t_0) = x_0 + \Delta x_0 \\ y(t_0) = y_0 + \Delta y_0. \end{cases} \quad (18)$$

Подставим (18) в (17):

$$\begin{cases} \frac{d(\Delta x)}{dt} = P(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) = (P'_x)_0 \cdot \Delta x + (P'_y)_0 \cdot \Delta y \\ \frac{d(\Delta y)}{dt} = Q(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) = (Q'_x)_0 \cdot \Delta x + (Q'_y)_0 \cdot \Delta y. \end{cases} \quad (19)$$

Характеристическое уравнение системы имеет вид:

$$\begin{vmatrix} (P'_x)_0 - p & (P'_y)_0 \\ (Q'_x)_0 & (Q'_y)_0 - p \end{vmatrix} = 0.$$

При мнимых $p = r + i \cdot s$ решение системы имеет вид:

$$ept = ert \cdot (\cos st + i \cdot \sin st). \quad (20)$$

Анализ уравнения (20) показывает, что нарастание или затухание колебаний определяется знаком корня характеристического уравнения p , если p – вещественный корень, и знаком r , если p – мнимое.

Очевидно, что если хотя бы один корень уравнения равен 0, то уравнение (20) будет иметь вид:

$$e^{-at} = 1.$$

То есть объект неподвижен и находится в состоянии равновесия, что в реальности невозможно.

ВЫВОДЫ

Проведённый анализ показал, что в существующих в России нормативных документах, регламентирующих расчёт крановых конструкций, не учитывается случайный характер ветровой нагрузки.

Проведённые теоретические исследования позволили получить выражение (20), позволяющее оценить изменение колебательного процесса в элементе металлоконструкции крана от действия ветровой нагрузки, носящей случайный характер нагружения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасова Т. В. Исследование устойчивости башенных кранов при воздействии ветровых нагрузок // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 6. [Электронный ресурс]: <http://web.snauka.ru/issues/2016/06/68604>. Доступ 25.04.2021.
2. Edwards, S. The effects of wind on crane operation. [Электронный ресурс]: <https://www.cranesandlifting.com.au/the-effects-of-wind-on-crane-operation/>. Доступ 25.04.2021.
3. Jeng, Shyr Long; Yang, Chia Feng; Chieng, Wei Hua. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 2010, Vol. 2 (38), pp. 145–170. DOI: 10.1080/15397730903482702.
4. Korytov, M. S., Sorokin, V., Titenko, V. V., Belyakov, V. E. Study of the crawler crane stability affected by the length of compensating ropes and platform rotation angle in the mode of movement with payload. Journal of Physics Conference Series, 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012135.
5. Мишин А. В. Обеспечение устойчивости башенных кранов при ветровых воздействиях // Дис... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 2014. – 169 с.
6. Рекомендации по уточнённому динамическому расчёту зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки. – Введ. 1999-15-12.
7. Cekus, D., Kwiaton, P. Impact of Wind on the Movement of the Load Carried by Rotary Crane. Applied Sciences, 2019, Vol. 9, pp. 21–22. DOI: <https://doi:10.3390/app9183842>.
8. Вибрации в технике: Справ.: в 6 т. – Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф. М. Диментберга, К. С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
9. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств: Избранные труды. – Киев: Наукова думка, 1985. – 528 с.
10. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Машиностроение, 2010. – 416 с.
11. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3 т. Том II / Пред. прим. А. А. Флоринского. – 8-е изд. – М.: Физматлит, 2001. – 864 с.

Информация об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, rich.cat2012@yandex.ru.

Кузнецов Филипп Александрович – аспирант кафедры путевых, строительных машин и робототехнических комплексов Российского университета транспорта, Москва, Россия, odevmaltkun@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 25.04.2019, одобрена после рецензирования 26.03.2021, актуализирована 20.09.2021, принята к публикации 15.10.2021.



Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике



Никита Анатольевич Осинцев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
Магнитогорск, Россия.
✉ osintsev@magtu.ru.

Никита ОСИНЦЕВ

АННОТАЦИЯ

В связи с возросшими требованиями мирового сообщества в соответствии с целями концепции устойчивого развития для управления цепями поставок требуются сложные модели принятия решений, которые учитывают множество экологических, экономических и социальных ограничений при реализации различных экологически безопасных, «зелёных» методов и технологий. Эффективным инструментом в таких условиях является использование MCDM – многокритериальных методов принятия решений.

Целью исследования, результаты которого приведены в статье, являлся анализ применения MCDM в «зелёной» логистике и управлении «зелёными» цепями поставок. В работе использован комплекс методов, включающий системный и структурно-функциональный анализ, методы теории нечётких множеств, математической статистики и экспертных оценок.

Предложена общая схема реализации MCDM и разработана комбинированная MCDM-модель оценки решений по выбору «зелёных» технологий, включающая систему показателей логистических потоков, модель управления логис-

тическими потоками и систему инструментов «зелёной» логистики.

В MCDM-модели для установления веса показателей логистических потоков применяется нечёткий аналитический иерархический процесс (fuzzy AHP), для ранжирования инструментов «зелёной» логистики используются одиннадцать MCDM-методов: SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS. Сравнение использования различных MCDM-методов показало высокую сходимость результатов ранжирования (коэффициент ранговой корреляции Спирмена 0,949). Наиболее согласованными являются методы SAW, MARCOS и WASPAS, наименее согласованным – метод CODAS.

Результаты расчётного примера показали, что наиболее предпочтительным решением является «использование интермодальных технологий и смешанных перевозок» (ранг №1 во всех одиннадцати методах), наименее предпочтительным – «использование экологических горюче-смазочных материалов (видов топлива)» (ранг №12 в 10 методах из 11).

Ключевые слова: многокритериальные методы принятия решений, устойчивое развитие, «зелёная» логистика, управление «зелёными» цепями поставок.

Для цитирования: Осинцев Н. А. Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 105–114. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>.

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

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире процесс принятия решений в организации чаще всего осуществляется в контексте концепции устойчивого развития [1] и должен одновременно учитывать экономические, социальные и экологические последствия в долгосрочной перспективе [2]. Эффективная реализация концепции устойчивого развития в логистической деятельности и управлении цепями поставок основана на использовании методов принятия управленческих решений по изменению параметров логистических потоков, совершенствованию элементов логистической системы и их функций [3]. Сложность принятия решений заключается в участии множества стейкхолдеров в цепи поставок, преследующих цели различной сложности [4]; неопределённости и динамичности логистической среды, а также необходимости учёта влияния множества факторов (экономических, технических, технологических, инфраструктурных, социальных и экологических) [3]; наличии широкого разнообразия управленческих решений на разных уровнях управления; увеличении числа критериев оценки управленческих решений, связанных, в частности, с достижением целей устойчивого развития [3; 5].

Необходимость учёта при принятии решения перечисленных ограничений привела к активному развитию научного направления в области многокритериального анализа принятия решений (multi-criteria decision

analysis – MCDA) или многокритериального принятия управленческих решений (multi-criteria decision-making – MCDM).

Целью настоящей статьи является анализ применения многокритериальных методов принятия решений в «зелёной» логистике и управлении «зелёными» цепями поставок. Достижение поставленной цели основывается на использовании системного и структурно-функционального анализа при разработке MCDM-модели выбора инструментов «зелёной» логистики, методов экспертных оценок и теории нечётких множеств для оценки показателей логистических потоков, а также математической статистики – для расчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена при сравнении различных MCDM-методов.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Методы MCDM являются важной частью теории принятия решений и анализа. Основное назначение их использования сводится к решению четырёх типов проблем [6]: выбор наилучшего решения из множества, ранжирование и сортировка решений, описание и систематизация решений и последствий их реализации для оценки и дальнейшего управления. В настоящее время MCDM активно используются в области изменения климата [7], устойчивого развития [2], экономики [8], устойчивой инженерии [9], управления цепями поставок [10–12], энергопотребления [13], реверсивной логистики [14], корпоративной устойчивости [15], на транспорте [16; 17],

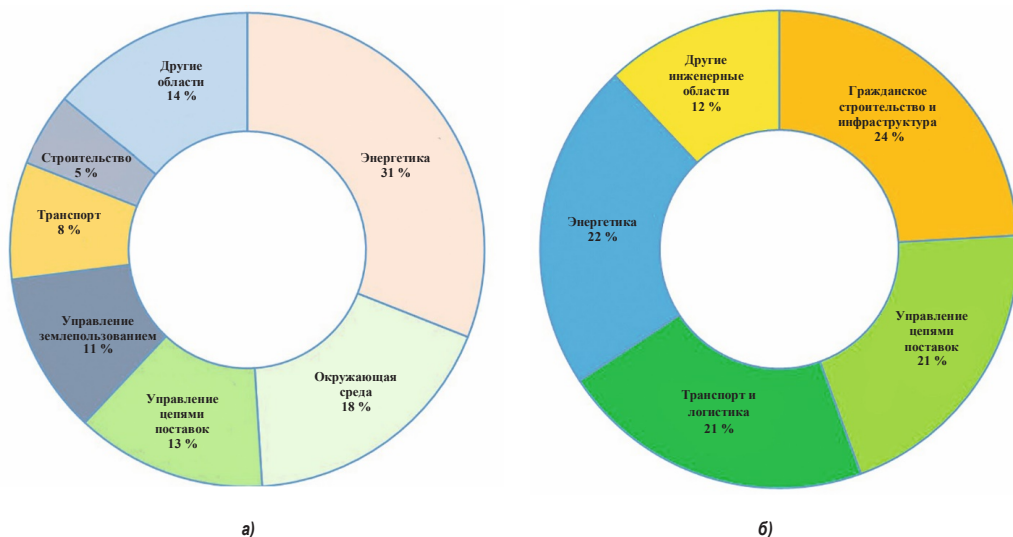


Рис. 1. Использование MCDM методов:
а – в области устойчивого развития; б – в устойчивой инженерии (составлено автором на основе [2; 9]).

в «зелёной» логистике [18] и управлении «зелёными» цепями поставок [19; 20].

Методы MCDM делятся на две категории: MODM – многоцелевое принятие решений (Multi-Objective Decision-Making) [21] и MADM – принятие решений по множеству атрибутов (Multi-Attribute Decision-Making) [22]. Модели MODM включают бесконечное или очень большое количество альтернативных решений, а цель рассмотрения проблемы состоит в том, чтобы определить оптимальную альтернативу с учётом набора чётко определённых ограничений путём решения математической модели. Модели MADM являются дискретными и применяются для ранжирования, когда конечное число предложенных альтернатив оценивается по отношению к различным взвешенным атрибутам для получения рейтинга предпочтений, который описывает эффективность каждой альтернативы для достижения цели в отношении атрибутов. Для повышения эффективности оценки MCDM-модели можно комбинировать с теорией нечётких множеств (Fuzzy set), грубой теорией множеств (Rough set), теорией серых систем (Grey set) и др. [23].

Среди недостатков применения MCDM называют [8; 24]: получение различных результатов при использовании MCDM для решения одной многокритериальной задачи; сложность сбора исходной информации и возможная её потеря в процессе агрегирования данных; повышение трудоёмкости процесса принятия решения. В работах [8; 25; 26] отмечается, что отсутствуют универсальные MCDM-методы, подходящие для всех ситуаций принятия решений, что приводит к проблеме выбора MCDM-метода. В исследованиях [25; 27] представлены рекомендации по такому выбору.

На рис. 1 показано распределение методов MCDM в области устойчивого развития [2] и устойчивой инженерии [9] – от 20 до 40 % исследований приходится на устойчивый транспорт и управление «зелёными» цепями поставок.

Наиболее часто используемыми MCDM-методами в области «зелёной» логистики и управления «зелёными» цепями поставок являются [9; 14; 18; 19; 28]: ANP – аналитический иерархический процесс, ANP – аналитический сетевой процесс, TOPSIS – метод упорядоченного предпочтения через сход-

ство с идеальным решением, DEMATEL – метод испытаний и оценки принятия решений, ELECTRE – исключение и выбор в условиях реальности, PROMETHEE – метод организации сортировки предпочтений для оценок альтернатив, VIKOR – многокритериальная оптимизация и компромиссное решение. Наиболее распространённым методом, используемым в комбинации с другими методами, является ANP и его разновидность – fuzzy ANP [9].

MCDM-методы используются для решения проблем, связанных с планированием сбыта, выбором «зелёного» поставщика, управлением обратными потоками (реверсивная логистика), оценкой расположения объектов логистической инфраструктуры, организацией и планированием перевозок [28].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основные этапы использования MCDM

Процесс принятия решения с использованием MCDM включает три основных этапа (рис. 2):

1. *Структурирование решаемой проблемы.* На этапе определяются цели и задачи; выполняется анализ возможных решений (альтернатив), которые могут быть реализованы для достижения целей; устанавливается система критериев, по которым должны оцениваться альтернативы; определяются лица, участвующие в принятии решений, а также экспертная группа. Полученная на данном этапе информация выступает в качестве основы для определения того, какой метод MCDM может быть использован.

2. *Выбор и применение MCDM-метода.* На этапе выполняются формирование исходной матрицы решений; оценка важности каждого критерия по отношению к цели; оценка предпочтения каждой альтернативы по отношению к критериям; расчёт общих взвешенных оценок альтернатив; агрегирование альтернативных оценок; ранжирование всех возможных альтернатив на основе общих взвешенных баллов. Использование на данном этапе различных методов MCDM влияет на конечный результат оценки.

3. *Рекомендации для принятия решений.* Чем выше общий взвешенный балл, тем предпочтительнее будет альтернатива. Полученные результаты следует дополнительно



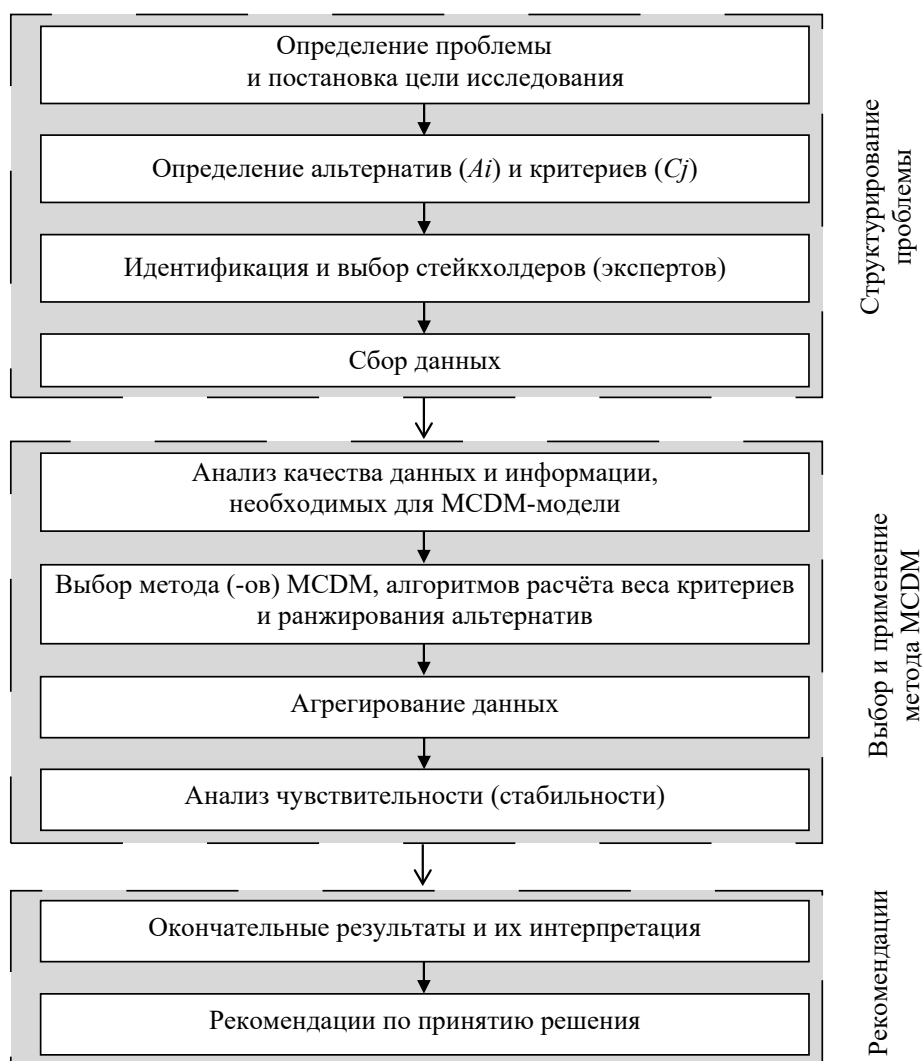


Рис. 2. Общая схема использования MCDM (разработано автором).

изучить, выполнив анализ чувствительности с целью оценки стабильности полученных результатов.

В случае, если в процессе принятия решения участвуют стороны с разными интересами, целесообразно использование метода многокритериального анализа с участием нескольких субъектов (Multi-Actor Multi-Criteria Analysis – MAMCA) [29]. В MAMCA иерархическая структура целей / задач / критериев формируется в общей модели в виде отдельных модулей для каждой заинтересованной стороны, которые впоследствии группируются вместе. Это позволяет группам заинтересованных сторон создавать свои собственные деревья критериев и учитывать, какие критерии представляют интерес для конкретной проблемы принятия решений [4].

Пример использования MCDM при выборе инструментов «зелёной» логистики

В качестве примера сравнения различных MCDM-методов в настоящей работе представлена задача оценки и выбора решений по реализации инструментов «зелёной» логистики для транспортного элемента логистической системы. Исходными данными для решаемой задачи являлись:

- система показателей логистических потоков [3];
- система инструментов «зелёной» логистики [30];
- модель управления логистическими потоками [31];
- весовые коэффициенты параметров и показателей логистических потоков, а также

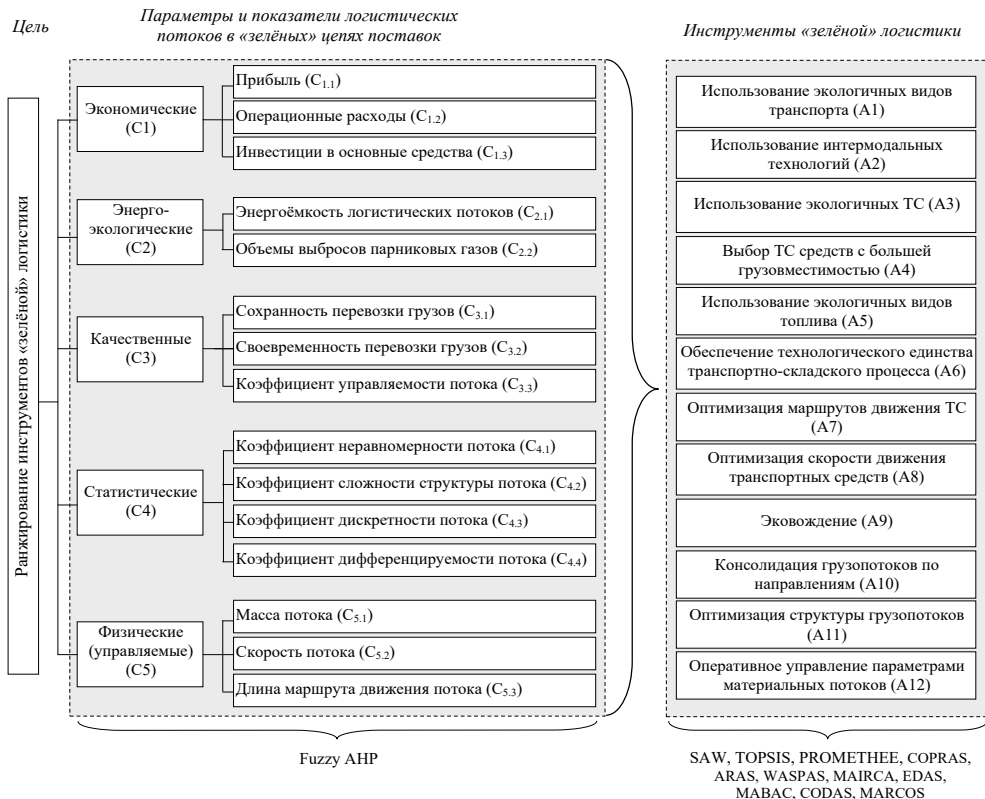


Рис. 3. Схема модели оценки управленческих решений по выбору инструментов «зелёной» логистики (разработано автором).

результаты экспертной оценки инструментов «зелёной» логистики [32].

На рис. 3 представлена общая схема MCDM-модели. Критериями (C1–C5) и субкритериями (C1.1–C5.3) модели являются пять групп параметров и 15 показателей логистических потоков [3], альтернативами (A1–A12) являются инструменты «зелёной» логистики транспортного элемента логистической системы [31].

Ранжирование инструментов «зелёной» логистики (альтернативы A1–A12) выполняется с использованием одиннадцати различных методов MCDM, в числе которых: метод простого аддитивного взвешивания (SAW – Simple Additive Weighting) [33]; метод расстановки приоритетов по сходству с идеальным решением (TOPSIS – Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [22]; метод формирования рангов предпочтения для обогащения оценок (PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) [34]; метод комплексной пропорциональной оценки (COPRAS – Complex Proportional Assessment) [35]; метод оценки аддитивного отношения (ARAS – Additive

Ratio Assessment) [36]; метод совокупной взвешенной суммы (WASPAS – Weighted Aggregated Sum Product Assessment) [37]; метод сравнительного анализа идеального и реального с множеством атрибутов (MAIRCA – Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) [38]; метод оценки отклонения от среднего решения (EDAS – The Evaluation based on Distance from Average Solution) [39]; метод сравнения многокритериальных разграниченных областей (MABAC – Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) [40]; метод комбинированной дистанционной оценки (CODAS – Combinative Distance-based Assessment) [41]; метод оценки альтернатив и ранжирование в соответствии с компромиссным решением (MARCOS – Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) [42]. С методиками расчёта и этапами реализации каждого метода можно ознакомиться в представленной научной литературе.

Исходная матрица принятия решений (X) включает альтернативы $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, оценка которых выполняется по критериям $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$.



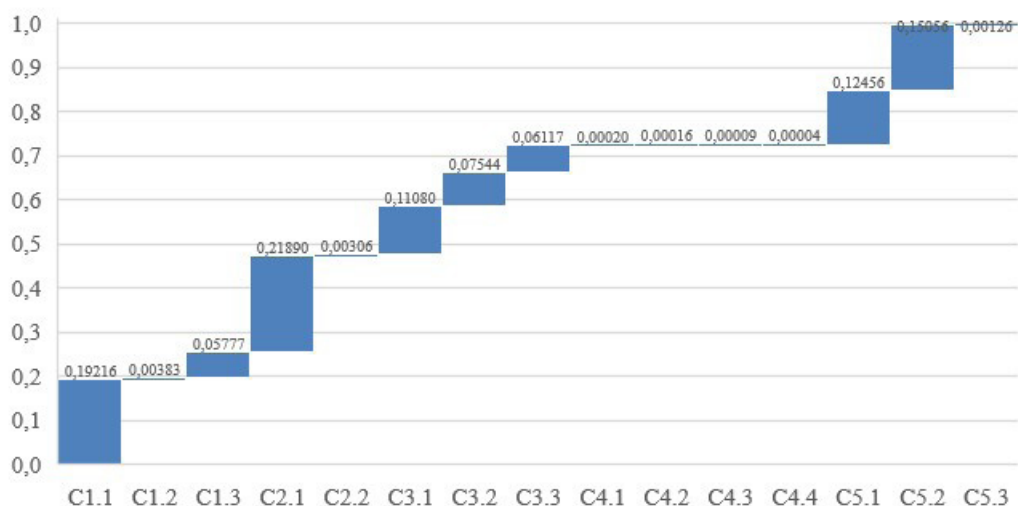


Рис. 4. Весовые коэффициенты показателей логистических потоков [32].

Таблица 1

Исходная матрица принятия решений [32]

A _i /C _j	C1.1 (max)	C1.2 (min)	C1.3 (max)	C2.1 (min)	C2.2 (min)	C3.1 (max)	C3.2 (max)	C3.3 (max)	C4.1 (min)	C4.2 (min)	C4.3 (min)	C4.4 (min)	C5.1 (max)	C5.2 (max)	C5.3 (min)
A1	3.302	4.309	4.642	4.309	5.000	2.000	1.260	3.302	2.000	2.520	2.289	2.289	2.884	2.884	3.302
A2	4.309	3.557	4.000	4.642	4.309	3.915	3.915	3.634	3.634	3.684	3.420	2.466	2.289	3.634	3.915
A3	2.289	3.175	3.557	3.634	4.642	2.000	1.817	2.080	1.817	2.000	1.817	2.289	2.289	2.289	2.080
A4	3.302	3.915	2.924	4.000	4.217	2.000	2.000	1.817	3.420	2.289	4.309	2.289	4.000	2.000	1.260
A5	3.302	3.634	1.817	3.634	3.557	1.000	1.000	1.000	1.587	1.260	1.260	1.260	1.000	1.587	1.000
A6	2.714	3.915	2.884	2.884	2.884	3.302	4.309	4.309	4.309	2.289	2.080	2.080	2.000	2.884	2.080
A7	2.520	3.302	1.817	2.621	2.884	1.817	2.884	3.634	2.289	2.289	2.080	2.289	1.442	2.520	3.107
A8	2.466	2.884	1.260	2.080	1.442	1.587	2.884	2.000	2.000	1.442	1.587	1.817	1.587	5.000	1.817
A9	1.587	2.289	1.000	2.080	2.621	1.000	1.587	1.817	1.587	1.442	1.442	1.000	1.260	2.884	1.442
A10	2.621	3.175	1.260	3.000	3.000	2.289	2.884	3.302	2.714	3.634	2.714	3.915	4.309	2.884	3.175
A11	3.175	2.884	1.587	2.884	2.621	2.289	3.175	3.634	3.175	5.000	2.289	2.884	3.000	3.420	2.080
A12	2.289	2.884	1.587	3.000	3.000	2.621	4.309	4.309	4.309	3.915	3.302	3.557	2.884	3.634	3.302

$$X = \begin{pmatrix} A_1 & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где m – количество альтернатив, равное 12;

n – количество критериев, равное 15;

x_{ij} – оценка значение i -й альтернативы A по j -му критерию C .

Значения весовых коэффициентов критериев C1.1–C5.3 рассчитаны методом fuzzy АНР (рис. 4), результаты экспертной оценки альтернатив представлены в табл. 1 [32]. Значение критериев C1.1, C1.3, C3.1, C3.2,

C3.3, C5.1, C5.2 стремится к максимуму (группа «выгода»), критериев C1.2, C2.2, C2.2, C4.1, C4.2, C4.3, C4.4, C5.3 стремится к минимуму (группа «затраты»).

С использованием данных табл. 1 и рис. 4 выполнены расчёт нормализованной матрицы принятия решений и агрегация данных в соответствии с выбранными MCDM-методами. Результаты ранжирования альтернатив с использованием одиннадцати методов MCDM представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Результаты анализа показывают, что наиболее предпочтительной альтернативой является A1 «использование интермодальных технологий и смешанных перевозок» (ранг

Таблица 2

Результаты ранжирования альтернатив различными методами MCDM

Метод MCDM	Альтернативы (инструменты «зелёной» логистики)											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
SAW	0.610	0.751	0.529	0.595	0.437	0.694	0.584	0.672	0.514	0.662	0.686	0.682
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4
TOPSIS	0.079	0.103	0.060	0.082	0.053	0.096	0.074	0.094	0.066	0.096	0.102	0.095
	8	1	11	7	12	4	9	6	10	3	2	5
PROMETHEE	-0.046	0.155	-0.140	-0.053	-0.262	0.128	-0.031	0.091	-0.156	0.080	0.126	0.108
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
COPRAS	81.33	100.00	70.28	79.18	56.29	91.38	75.62	86.95	65.73	87.39	89.88	89.71
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	3	4
ARAS	0.613	0.755	0.530	0.598	0.427	0.690	0.573	0.659	0.498	0.660	0.680	0.678
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	3	4
WASPAS	0.344	0.423	0.299	0.336	0.245	0.392	0.330	0.377	0.287	0.374	0.388	0.385
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4
MAIRCA	0.035	0.051	0.028	0.035	0.019	0.049	0.036	0.046	0.027	0.045	0.048	0.047
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
EDAS	0.498	0.843	0.313	0.473	0.053	0.721	0.412	0.585	0.183	0.646	0.690	0.691
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	4	3
MABAC	-0.014	0.170	-0.101	-0.020	-0.212	0.146	0.000	0.112	-0.115	0.102	0.144	0.127
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
CODAS	-0.098	0.617	-0.620	-0.037	-0.552	0.111	-0.247	0.493	0.002	0.126	0.128	0.090
	9	1	12	8	11	5	10	2	7	4	3	6
MARCOS	0.566	0.696	0.491	0.552	0.406	0.644	0.542	0.623	0.477	0.615	0.637	0.633
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4

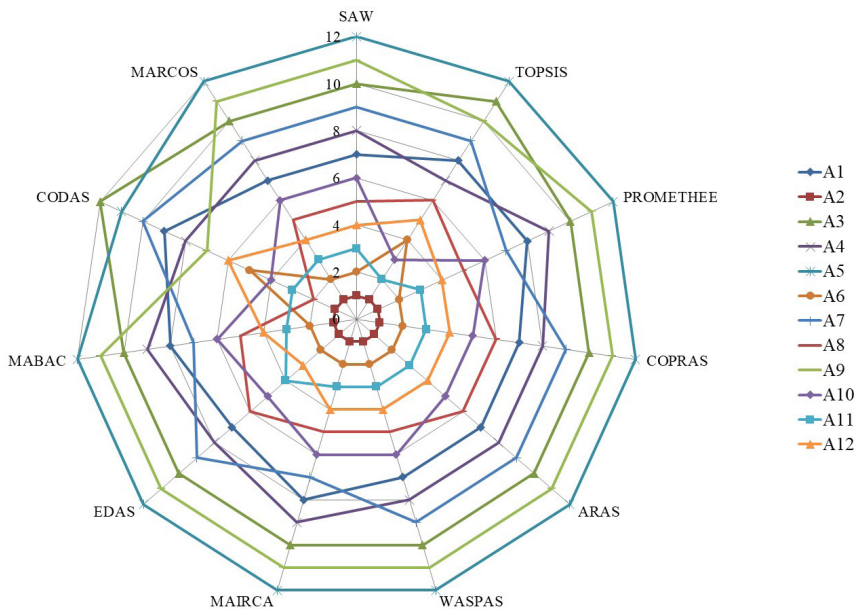


Рис. 5. Результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики одиннадцатью методами MCDM.



Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (результаты получены автором)

Метод MCMD	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	MARCOS
SAW	1.000	0.930	0.979	0.993	0.993	1.000	0.979	0.986	0.979	0.818	1.000
TOPSIS	–	1.000	0.909	0.951	0.951	0.930	0.909	0.930	0.909	0.881	0.930
PROMETHEE	–	–	1.000	0.972	0.972	0.979	1.000	0.965	1.000	0.797	0.979
COPRAS	–	–	–	1.000	1.000	0.993	0.972	0.993	0.972	0.804	0.993
ARAS	–	–	–	–	1.000	0.993	0.972	0.993	0.972	0.804	0.993
WASPAS	–	–	–	–	–	1.000	0.979	0.986	0.979	0.818	1.000
MAIRCA	–	–	–	–	–	–	1.000	0.965	1.000	0.797	0.979
EDAS	–	–	–	–	–	–	–	1.000	0.965	0.783	0.986
MABAC	–	–	–	–	–	–	–	–	1.000	0.797	0.979
CODAS	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.000	0.818
MARCOS	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.000

№ 1 во всех одиннадцати методах), наименее предпочтительной альтернатива А5 «использование экологических горюче-смазочных материалов (видов топлива)» (ранг № 12 в 10 методах из 11). Расхождение ранга в альтернативах объясняется использованием в методах различных алгоритмов и способов нормализации исходной матрицы решений и агрегирования данных, а также наличием множества альтернатив при небольшом различии в оценках между ними.

Чтобы определить взаимосвязь между результатами ранжирования, полученными с помощью различных MCDM-методов, используется коэффициент ранговой корреляции Спирмена [43] (табл. 3).

Несмотря на то, что в рассмотренных MCDM-методах используются разные способы нормализации и агрегации данных, при ранжировании альтернатив была достигнута высокая корреляция (общий коэффициент корреляции составил 0,949). Методы SAW, MARCOS и WASPAS полностью согласованы между собой и имеют самое высокое значение среднего коэффициента корреляции среди всех методов, равное 0,9688. Наименее согласованным по сравнению с другими методами является CODAS (средний коэффициент корреляции равен 0,829). Различие в рангах

описано в литературе [44; 45] и обосновано применением различных методов нормализации данных (например, векторной или линейной нормализации).

Полученные результаты ранжирования инструментов «зелёной» логистики могут быть использованы для принятия управленческих решений по повышению устойчивости транспортного элемента «зелёной» цепи поставок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье исследованы вопросы применения многокритериальных методов принятия решений (MCDM) в «зелёной» логистике и управлении «зелёными» цепями поставок, показаны особенности применения методов и обоснована необходимость их использования при управлении цепями поставок.

Разработанная комбинированная MCDM-модель оценки и выбора решений по реализации инструментов «зелёной» логистики включает двенадцать альтернатив и 15 критериев. Вес критериев рассчитывался с использованием fuzzy AHP, ранжирование альтернатив выполнялось одиннадцатью MCDM-методами – SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS.

Расчётный пример сравнения одиннадцати MCDM-методов показал высокую корреляцию результатов (коэффициент корреляции 0,949). Наиболее согласованными являются методы SAW, MARCOS и WASPAS, наименее согласованным – метод CODAS. По результатам расчётов предпочтительной альтернативой является «использование интермодальных технологий и смешанных перевозок» (A1), наименее предпочтительной альтернатива A5 «использование экологических горючесмазочных материалов».

Дальнейшие исследования могут быть связаны с разработкой гибридной MCDM-модели принятия решений по выбору инструментов «зелёной» логистики в цепях поставок, учитывающей интересы различных стейкхолдеров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sustainable Development. United Nations Department of Economic and Social Affairs. [Электронный ресурс]: <https://sustainabledevelopment.un.org/>. Доступ 06.07.2021.
2. Kandakoglu, A., Frini, A., Ben Amor, S. Multicriteria decision making for sustainable development: a systematic review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2019, Vol. 26, Iss. 5–6. pp. 202–251. DOI: <https://doi.org/10.1002/mcda.1682>.
3. Osintsev, N., Rakhmangulov, A., Śladkowski, A., Dyorina, N. Logistic flow control system in green supply chains. In: *Ecology in Transport: Problems and Solutions*. Ed. by Śladkowski, A. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, Vol. 124, pp. 311–380. DOI: [10.1007/978-3-030-42323-0_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42323-0_6).
4. Fredriksson, A., Janné, M., Nolz, P., Radiguès Chenevière, P., van Lier, T., Macharis, C. Creating stakeholder awareness in construction logistics by means of the MAMCA. *City and Environment Interactions*, 2021, Iss. 11, p. 100067. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2021.100067>.
5. Rakhmangulov, A. N., Kornilov, S. N., Aleksandrinn, D. V., Shevkunov, N. O. Multi-criteria model for the development of industrial logistics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Iss. 966, 012103. DOI: [10.1088/1757-899X/966/1/012103](https://doi.org/10.1088/1757-899X/966/1/012103).
6. Roy, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Boston, MA: Springer US, 1996. Series: Nonconvex Optimization and Its Applications, Vol. 12, 292 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>.
7. Doukas, H., Nikas, A. Decision support models in climate policy. *European Journal of Operational Research*, 2020, Vol. 280, Iss.1. pp. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.017>.
8. Zavadskas, E. K., Turskis, Z. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 2011, Vol. 17, Iss. 2, pp. 397–427. DOI: [10.3846/20294913.2011.593291](https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291).
9. Stojčić, M., Zavadskas, E., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A. Application of MCDM methods in sustainability engineering: a literature review 2008–2018. *Symmetry*, 2019, Vol. 11, Iss. 3, 350. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym11030350>.
10. *Multiple Criteria Decision Making in Supply Chain Management*. Ed. by Ravindran, A. R. Boca Raton: CRC

Press, 2016, Vol.12, 412 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315371450>.

11. Beck, P., Hofmann, E. Multiple criteria decision making in supply chain management – Currently available methods and possibilities for future research. *Die Unternehmung*, 2012, Vol. 66, Iss. 2, pp. 180–213. DOI: [10.5771/0042-059X-2012-2-180](https://doi.org/10.5771/0042-059X-2012-2-180).

12. Khan, S. A., Chaabane, A., Dweiri, F. T. Multi-criteria decision-making methods application in supply chain management: a systematic literature review. In: *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management*. Ed. by V. A. P. Salomon. InTechOpen, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.intechopen.com/chapters/59664>. Доступ 06.07.2021.

13. Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K. M., Khoshnoudi, M. A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, Iss. 71, pp. 216–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.053>.

14. Rezaei, J. A systematic review of multi-criteria decision-making applications in reverse logistics. *Transportation Research Procedia*, 2015, Iss. 10, pp. 766–776. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.030>.

15. Chowdhury, P., Paul, S. K. Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: a systematic literature review. *Management of Environmental Quality*, 2020, Vol. 31, Iss. 2, pp. 385–405. DOI: <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0284>.

16. Macharis, C., Bernardini, A. Reviewing the use of multi-criteria decision analysis for the evaluation of transport projects: time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 2015, Vol. 37, Iss. 1, pp. 177–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.002>.

17. Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Jusoh, A., Nor, K. M. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: a systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 2016, Vol. 31, Iss. 3, pp. 359–385. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1121517>.

18. Wątróbski, J. Outline of multicriteria decision-making in green logistics. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 16, pp. 537–552. DOI: [10.1016/j.trpro.2016.11.051](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.051).

19. De Oliveira, U. R., Espindola, L. S., Da Silva, I. R., Da Silva, I. N., Rocha, H. M. A systematic literature review on green supply chain management: research implications and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 2018, Vol. 187, pp. 537–561. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.03.083](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.083).

20. Zhang, L.-J.; Liu, R.; Liu, H.-C.; Shi, H. Green supplier evaluation and selections: a state-of-the-art literature review of models, methods, and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Iss. 4, pp. 1–25.

21. Hwang, Ching-Lai; Masud, Abu Syed Md. *Multiple Objective Decision Making – Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*. Berlin, Heidelberg, Springer, 1979, 354 p. ISBN 978-3-642-45511-7. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-45511-7%2F1.pdf>. Доступ 06.07.2021.

22. Hwang, Ching-Lai; Yoon, Kwangsun. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey*. Berlin, Heidelberg, Springer, 1981, 262 p. ISBN 978-3-642-48318-9. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-48318-9%2F1.pdf>. Доступ 06.07.2021.

23. *Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) Techniques for Business Processes Information Management*. Ed. by E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, P. Chatterjee. Basel, MDPI, 2019, 322 p. ISBN 978-3-03897-642-4. DOI: [10.3390/books978-3-03897-642-4](https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-642-4).

24. Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M., Yusop, Z. B. Methods and their Effects on Multi-Criteria



Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. Weighting Cham, Springer International Publishing, 2015, 166 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12586-2.

25. Guitouni, A., Martel, J.-M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 1998, Vol. 109, Iss. 2, pp. 501–521. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v109y1998i2p501-521.html#download>. Доступ 06.07.2021.

26. Valipour, A., Sarvari, H., Tamošaitienė, J. Risk Assessment in PPP Projects by Applying Different MCDM Methods and Comparative Results Analysis. *Administrative Sciences*, 2018, Vol. 8, Iss. 4, p. 80. DOI: 10.3390/admsci8040080.

27. Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., Ziolo, M. Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 2019, Vol. 86, Iss. 1, pp. 107–124. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/eee/jomega/v86y2019i1p107-124.html#download>. Доступ 06.07.2021.

28. Banasik, A., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Kanellopoulos, A., Claassen, G. D. H., van der Vorst, J. G. A. J. Multi-criteria decision making approaches for green supply chains: a review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2018, Vol. 30, Iss. 3, pp. 366–396. [Электронный ресурс]: https://ideas.repec.org/a/spr/flsman/v30y2018i3d10.1007_s10696-016-9263-5.html#download. Доступ 06.07.2021.

29. Macharis, C., De Witte, A., Turckin, L. The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) application in the Flemish long-term decision making process on mobility and logistics. *Transport Policy*, 2010, Vol. 17, Iss. 5, pp. 303–311. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/eee/transport/v17y2010i5p303-311.html#download>. Доступ 06.07.2021.

30. Rakhmangulov, A., Sladkowski, A., Osintsev, N., Muravev, D. Green logistics: a system of methods and instruments. Part 2. *Naše more*, 2018, Vol. 65, Iss. 1, pp. 49–55. [Электронный ресурс]: https://www.nasemore.com/wp-content/uploads/2018/04/7_Rakhmangulov_Sladkowski_Osintsev_Muravev.pdf. Доступ 06.07.2021.

31. Осинцев Н. Концепция системы управления логистическими потоками в «зелёных» цепях поставок // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. – 2020. – № 2. – С. 81–92. DOI: 10.20291/2079-0392-2020-2-81-92.

32. Осинцев Н., Рахмангулов А., Сладковский А. Ранжирование инструментов «зелёной» логистики комбинированным методом Fuzzy AHP-TOPSIS // *Транспорт Урала*. – 2020. – Т. 64. – № 1. – С. 3–14. DOI: 10.20291/1815-9400-2020-1-3-14.

33. Churchman, C. W., Ackoff, R. L. An Approximate Measure of Value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 1954, Vol. 2, Iss. 2, pp. 172–187. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/inm/oropre/v2y1954i2p172-187.html#download>. Доступ 06.07.2021.

34. Brans, J. P., Vincke, P. Note – a preference ranking organization method. *Management Science*, 1985, Vol. 31, Iss. 6, pp. 647–656. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/inm/ormsci/v31y1985i6p647-656.html#download>. Доступ 06.07.2021.

35. Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Sarka, V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1994, Vol. 1, Iss. 3, pp. 131–139. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Arturas-Kaklauskas/publication/285902199_The_new_method_of_multicriteria_complex_proportional_assessment_of_projects/links/6076cdaea020ab5f21733a0b/The-new-method-of-multicriteria-complex-proportional-assessment-of-projects.pdf. Доступ 06.07.2021.

36. Zavadskas, E. K., Turskis, Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 2010, Vol. 16, Iss. 2, pp. 159–172. DOI: 10.3846/tede.2010.10.

37. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Electronics and Electrical Engineering*, 2012, Vol. 122, Iss. 6, pp. 3–6. DOI: 10.5755/j01.eee.122.6.1810.

38. Pamučar, D., Vasin, L., Lukovac, V. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA: Application of a new method of multi-criteria decision-making. 16th Scientific-Expert Conference on Railways, RAILCON 2014. Bane, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 89–92. DOI: 10.13140/2.1.2707.6807.

39. Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., Turskis, Z. Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 2015, Vol. 26, Iss. 3, pp. 435–451. DOI: 10.15388/Informatica.2015.57.

40. Pamučar, D., Čirović, G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 2015, Vol. 42, Iss. 6, pp. 3016–3028. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.11.057.

41. Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. A New Combinative Distance-Based Assessment (Codas) Method for Multi-Criteria Decision-Making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 2016, Vol. 50, Iss. 3, pp. 25–44. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/cys/ecocyb/v50y2016i3p25-44.html#download>. Доступ 06.07.2021.

42. Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., Chatterjee, P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 106231. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106231.

43. Conover, W. J. *Practical nonparametric statistics*. Ed. 3rd. New York, Chichester, John Wiley, 1999, 608 p. ISBN 978-0-471-16068-7.

44. Aytakin, A. Comparative Analysis of the Normalization Techniques in the Context of MCDM Problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2021, Vol. 4, Iss. 2, pp. 1–25. DOI: 10.31181/dmame210402001a.

45. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Kildienė, S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 2014, Vol. 20, Iss. 1, pp. 165–179. DOI: 10.3846/20294913.2014.892037.

Информация об авторе:

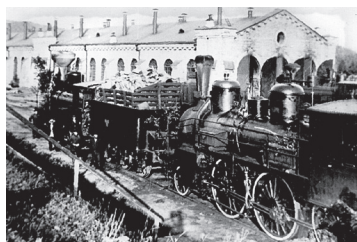
Осинцев Никита Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия, osintsev@magtu.ru.

Статья поступила в редакцию 16.09.2021, одобрена после рецензирования 11.10.21, дополнена 29.10.2021, принята к публикации 05.11.2021.

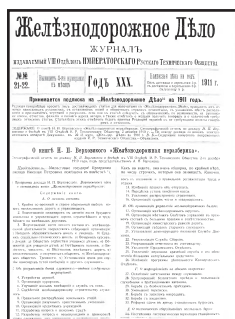


ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА 116

Продолжение публикации доклада
О. А. Струве на торжественном
общем собрании членов
Императорского Русского
Технического Общества
15 апреля 1911 года по случаю
семидесятилетия создания
железных дорог в России.
Многие поднятые им вопросы
транспортной доступности
по-своему актуальны.



КОЛЕСО ИСТОРИИ



ВАГОН-САМОХОД 119

110 лет назад пытались сделать
так, чтобы внедрение новой
техники было экономически
обоснованным и обсуждали
социальную значимость
обеспечения пригородного движения.
К тому же уже тогда задумывались
над альтернативными источниками
энергии, правда, электричество
противопоставлялось скорее пару,
а не дизелю.





Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 2



Пресс-архив

Окончание публикации статьи, первоначально увидевшей свет в журнале «Железнодорожное дело» 110 лет и знаковавшей читателей с докладом О. А. Струве, представленным на Торжественном общем собрании членов Императорского Русского Технического Общества 15 апреля 1911 года по случаю семидесятилетия от начала железных дорог в России, под председательством Почётного Председателя Общества Его Императорского Высочества Великого Князя Александра Михайловича.

Во второй части затрагиваются и ныне актуальные вопросы расчёта транспортной доступности регионов и связанности страны, взаимодействия, а не конкуренции железнодорожного и водного транспорта, социальной или коммерческой природы и источников инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры. Как образно замечает автор, «не подлежит сомнению, что рубль, затраченный на постройку железных дорог, является как бы рублём хотя и зарытым в землю, но приращивающим её стоимость более, чем на свою собственную цену».

Первая часть была воспроизведена в прошлом выпуске нашего журнала (Т. 19, № 4 (95)).

Ключевые слова: железная дорога, история, обеспеченность железными дорогами, связанность территории.

Железнодорожную сеть страны можно себе представить в виде некоторой схематической правильной сети, состоящей из ряда взаимно перпендикулярных линий, образующих прямоугольные квадратные клетки, с условием, чтобы общее протяжение этих линий равнялось длине железных дорог данной страны, а пространство, ими покрытое, соответствовало бы площади той же страны.

Большой или меньший размер стороны такой клетки послужит наглядным указателем густоты сети.

Простой расчёт показывает, что сторона такой клетки, выраженная в километрах или вёрстах, равняется 200, разделённым на коэффициент густоты сети, т.е. на протяжение дорог, приходящееся на 100 кв. вёрст или километров.

На этом основании сторона клетки сети определится:

Для цитирования: Доклад О. А. Струве, кандидата по председателю VIII Отдела. Часть 2 // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 116–118. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-14>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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

Для Франции	в 22,5 км
Для Германии	в 18,5 км
Для Англии	в 16,9 км
Для Австрии	в 30,0 км

наконец, для Европейской России, выключая северные области, в 140 вёрст или 148 километров.

Эта величина сторон схематической клетки может, понятно, лишь с некоторым приближением служить сравнительным мерилем для оценки среднего расстояния гужевого подвоза к железным дорогам (который, рассуждая теоретически, равнялся бы одной шестой части стороны клетки), но всё же и эти цифры красноречиво свидетельствуют о необходимости значительного сгущения нашей сети и дальнейшего её расширения и развития.

Однако обслуженность России железными дорогами в отдельных её частях далеко не равномерна. Оставляя в стороне обширные пространства Сибири, Среднеазиатской области и Степного края, где существующие и проектированные магистрали должны служить основой для будущей железнодорожной сети, мы отметим лишь, что и в пределах Европейской России обслуженность дорогами сильно колеблется по отдельным районам. Наименее обслуженным является Верхне-Волжский и Камский край, что и вполне естественно, так как в нём значительно развита водная система, и поэтому этот край, по времени деления его железными дорогами, должен был уступить местностям, в отношении водных путей менее богатым. Но всё же и для него наступило ныне время, когда проведение железных дорог должно считаться безусловно неотложным.

В остальной части Европейской России можно отметить, главным образом, две широкие полосы меньшей обслуженности, обе тянущиеся с северо-востока на юго-запад. Ось первой, восточной, полосы тянется примерно от Симбирска к Новороссийску, второй, западной, от Вологды через Могилёв на Ровно. Между ними расположена более обслуженная полоса в направлении от Москвы к Екатеринославу.

Очевидно, что наиболее наглядным образом степень железнодорожной обслуженности Европейской России по частям могла быть изображена только физическим путём. В этих целях образованной при Министер-

стве Путей Сообщения междуправительственной Комиссией по выработке программы железнодорожных изысканий на предстоящие годы изданы картограммы, которым Организационный Комитет уделил место на юбилейной выставке. Они полнее всякого доклада указывают относительную интенсивность железнодорожной обслуженности отдельных губерний.

Мы уже отметили, как широко должно ещё прогрессировать железнодорожное строительство для того, чтобы Россия в этом отношении сравнялась бы с соседними государствами.

Приведённые нами цифры не могли не показаться внушительными и задача гигантской.

Но если вспомнить, что в первое двадцатипятилетие было построено 2050 вёрст, во второе – 22250 и в третье – ныне завершающееся – 36415 вёрст, то разве можно сомневаться, что выполнение намеченной крупной задачи будет посильно обширному нашему Отечеству.

Нельзя забывать, что громадные пространства ещё далеко отстоят от железнодорожных путей и не могут выступать со своими пока нетронутыми богатствами на всемирный рынок за чрезмерною стоимостью расходов по перевозке. Из общего пространства Европейской России, в 4227000 кв. вёрст, не учитывая областей севернее 62-й параллели, местности общей поверхностью в 1780000 кв. вёрст или 42 % отстоят далее 30 вёрст от железных дорог, а местности в 1120000 кв. вёрст или около 25 % далее – 50 вёрст.

Действительно, мы и поныне терпим от избытка расстояний.

Указывают у нас на водообильные речные пути, как на могучее пособие для перевозки массовых грузов; однако, одним из главных условий для широкого развития промышленности и торговли являются пути, обеспеченные непрерывностью действия, и тут, именно, железные дороги должны выступать как союзники речных путей, совместно трудясь на пользу общих целей.

Когда впервые человечество стало располагать новым мощным орудием перевозки – железной дорогой, открывшей пути сообщения в направлениях, не предуказанных природой, а выбираемых по соображе-



ниям с назревающими потребностями, то вполне понятно, что все усилия, все затраты устремились к созданию этих новых сухопутных сообщений.

Эти пути не останавливались перед горными преградами и ручными потоками, они работали непрерывно, всюду пробуждая производительные силы, создавая торговлю, поднимая благосостояние края. Вспахав втуне лежавшие нивы, подняв скрытые в недрах земли горные богатства, открывая доступ к новым рынкам сбыта, железные дороги создали неслыханное ранее общее грузов, под конец им непосильное. И тут временно как бы забытые водные пути поспешили к ним на выручку.

Необходимость усиленного обустройства и развития водных путей явилась прямым последствием громадной культурной работы железных дорог, и мы видим, что на западе ныне направлены серьёзные заботы к расширению старых и созданию новых водных сообщений. То же самое должно быть у нас, и у нас железные дороги создают потребность в передвижении громадного избытка грузов, и на подмогу к ним явятся водные пути, уже ныне подготавливаемые к предстоящим им задачам, не в виде соперников железных дорог, а как союзная сила.

В заключение позвольте коснуться одного вопроса. Высказываются опасения, что широкое железнодорожное строительство может грозить потрясением финансового благосостояния страны, что затраченные на сооружение железных дорог капиталы не окупятся и потребуют ежегодных приплат, что железнодорожные убытки придётся покрывать из других ресурсов, из налоговых средств.

Но правильно ли оценивать железные дороги мерилom коммерческих предприятий, исходить из масштаба их самоокупаемости. Не являются ли они скорее средством для широкого подъёма общего благосостояния обширного государственного хозяйства, средством наподобие сооружённой для большого промышленного предприятия специальной подъездной ветви, без которой предприятие не могло бы развиваться, не могло бы извлекать доходы из сбыта продуктов своего производства, за невозможностью или за дороговизной доставки их на рынки.

Достаточно остановиться на одном соображении. Как упомянуто, в пределах Европейской России, в части южнее параллели 62°, проходящей примерно через Петрозаводск, Шенкурск, Яренск, местности, площадью до 1 120 000 кв. вёрст, находятся в отдалении от железных дорог на 50 вёрст и более. Допуская, что при развитии железнодорожной сети эти местности в большей или меньшей мере войдут в сферу непосредственного влияния рельсового пути, что, на круг, при этом произойдёт приращивание ценности земель, в среднем, на двадцать рублей с десятины, общий прирост земельной ценности выразился бы суммой в 2 240 млн руб., т.е. был бы равноценен стоимости постройки свыше 40 000 вёрст железных дорог.

Казалось бы, что задача железнодорожной финансовой политики должна была бы, между прочим, состоять в том, чтобы это приращение земельной стоимости, вызванное железнодорожным строительством, учитывалось тем или иным путём по железнодорожному балансу.

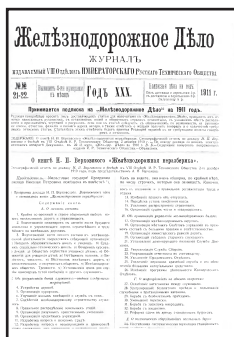
Во всяком случае, не подлежит сомнению, что рубль, затраченный на постройку железных дорог, является как бы рублём хотя и зарытым в землю, но приращивающим её стоимость более, чем на свою собственную цену.

Мы празднуем сегодня семидесятипятилетие первого Высочайшего Указа, одарившего Россию первой железной дорогой и направившего её на путь, по которому она с тех пор неуклонно следовала. Да позволено будет высказать от имени железнодорожного Отдела Императорского Русского Технического Общества твёрдую уверенность, что и в предстоящее двадцатипятилетие наша железнодорожная сеть будет мощно развиваться и расширяться так, чтобы в день торжественного празднования столетнего железнодорожного юбилея, те, которым суждено будет собраться, Бог даст, в обширном зале обновлённого здания Императорского Русского Технического Общества, могли бы с гордостью отметить дальнейший могучий рост нашей сети и её громадное значение для культурного подъёма и благосостояния нашей дорогой Родины (*продолжительное рукоплескание*).

О. А. Струве
(Железнодорожное дело. —
1911. — №№ 17–19. — С. 124–128) ●



Вагоны-самоходы на русских железных дорогах



Пресс-архив

Заметка в журнале «Железнодорожное дело» в 1911 году предлагала читателям новости о первом техническом задании на производство вагонов-самоходов или – в современных терминах – автомотрис. Предполагалось апробировать несколько моделей с различными двигателями, в том числе, и электрическим. Несмотря на длительные дискуссии по поводу экономичности такой техники по сравнению с обычными многовагонными поездами, звучали рациональные высказывания об их пригодности для пригородного и местного сообщения на линиях с небольшим пассажиропотоком.

Ключевые слова: история транспорта, вагон-самоход, автомотриса, пригородное движение.

Образованная при Министерстве Путей Сообщения, под председательством члена Комитета Управления железных дорог, действительного статского советника Н. К. Гофмана, особая комиссия закончила выработку технических условий, которым должны отвечать предположенные к постройке новые вагоны-самоходы. Первоначально предположено заказать 10 вагонов-самоходов с различными системами двигателей (электромоторной, паровой и внутреннего сгорания). После испытания вагоны-самоходы с лучшей системой двигателей будут заказаны

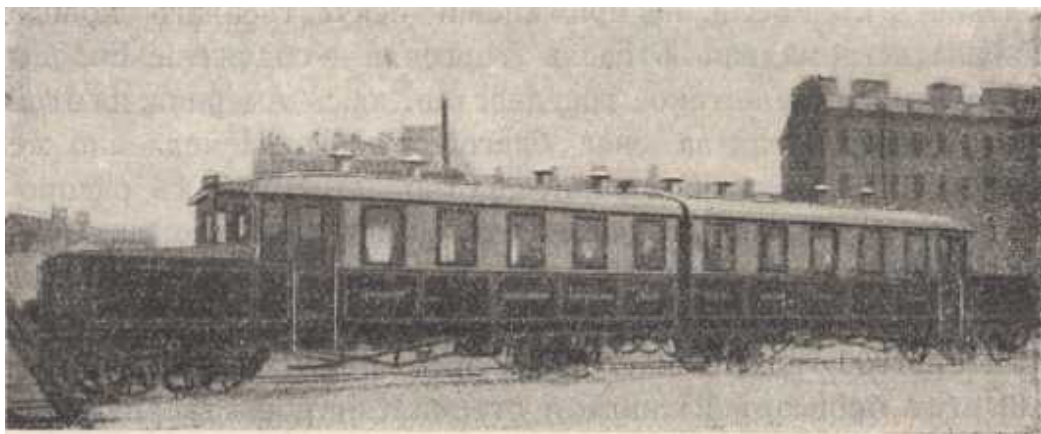
для нужд казённых железных дорог как для обслуживания пригородного движения, так и для замены ими поездов местного сообщения в тех местностях, где назначение отдельных поездов представляется убыточным («Вестник путей сообщения», № 5, 1911 г.).

Приветствуем это начало, предпринятое, вероятно, благодаря почину Общества Московско-Виндаво-Рыбинской железной дороги, устроившей такой же поезд двухвагонного состава, для движения, в виде опыта, на своей Царскосельской линии, с аккумуляторным электрическим двигателем.

Для цитирования: Вагоны-самоходы на русских железных дорогах // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 119–120.
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-15>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

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



Новый электрический аккумуляторный вагон Брянского завода.



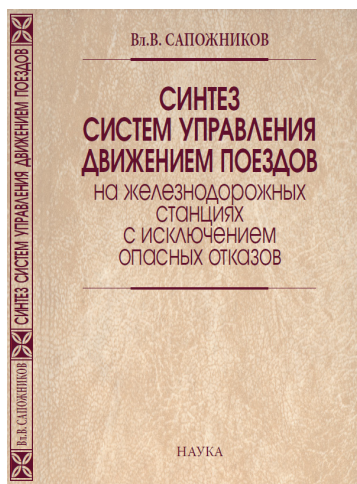
Станция Ржев Московско-Виндавской железной дороги.

Что касается Императорского Русского Технического Общества, то первый доклад в VIII Отделе нашего Общества о паровых самодвижущихся вагонах сделан был Н. И. Чайковским ещё в 1881 году 21 октября, т.е. более 29 лет тому назад (см. «Жел.-дор. дело» 1882 года, стр. 3). Это был первый тип отдельно следующих вагонов для коротких железнодорожных ветвей и перегонов на главных линиях. Такие вагоны в России большого распространения не получили, главным образом, вследствие существующего у нас исключительного взгляда на пассажирское движение, по его убыточности, и на пассажиров, как на груз, подлежащий перевозке, по возможности, без убытка, а не как на индивидуумов, которыми ведётся вся жизнь страны, в том числе и образование действительных грузов, перевозка которых для железных дорог выгодна. Упомянутый исключительный

взгляд для уменьшения убыточности требует поездов большого состава, а удобства населения, вообще, возрастают с числом поездов в сутки и с распределением их по часам суток сообразно с местными интересами. Установление наиболее удачного соответствия в осуществлении на деле этих двух начал – требовании экономии и требований жизни – составляет предмет и искусство эксплуатации железных дорог.

В «Жел.-дор. деле» имеется много сведений о самодвижущихся вагонах и о местных поездах: 1883 г., стр. 212 и 294; 1884 г., стр. 280; 1888 г., стр. 79; 1889 г., стр. 123; 1890 г., стр. 278; 1893 г., стр. 443; 1896 г., стр. 31, 136 и 162; 1902 г., стр. 31, 198 и 362; 1905 г., стр. 28; 1908 г., стр. 73; 1909 г., стр. 63.

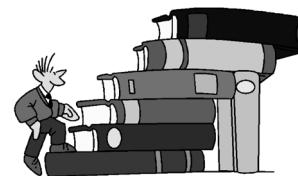
(Железнодорожное дело. – 1911. – № 8. – С. 54; № 25. – С. 184) ●



УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТРАНСПОРТ

122

Рецензия на книгу, посвящённую синтезу систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ



АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

125

- Автоматизация синтеза взаимозависимостей положения стрелок и показаний светофоров в системах электрической централизации.
- Реализации стратегии качества ESM в условиях индустриально-инновационного развития Республики Казахстан.
- Оптимизация энергозатрат на тягу поездов на основе уточнённого метода тяговых расчётов.
- Взаимодействие грунтового массива с экраном из разреженного ряда свай.
- Влияние режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

132

Новые публикации, увидевшие свет в российских издательствах.





Обзор книги «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов»



Дмитрий ЕФАНОВ

Дмитрий Викторович Ефанов

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ TrES-4b@yandex.ru.

Сапожников Вл. В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. – М.: Наука, 2021. – 229 с. – ISBN 978-5-02-040877-7.

В статье даётся короткая рецензия на только что вышедшую книгу профессора Вл. В. Сапожникова «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов».

В книге рассмотрены основы синтеза безопасных систем управления движением поездов на железнодорожных станциях. Системы управления на этапе абстрактного синтеза представляются в виде совокупности множества

конечных автоматов, при реализации которых исключаются условия возникновения опасных отказов и, соответственно, возникновения катастрофических нарушений в работе, вызывающих угрозы пассажирам и перевозимым грузам.

Рекомендуется для разработчиков систем управления ответственными технологическими процессами, систем автоматизированного проектирования, тестирования, технического диагностирования и мониторинга устройств автоматизации на транспорте и в промышленности, а также студентов, аспирантов, преподавателей, инженеров, специалистов в сфере синтеза систем управления.

Ключевые слова: управление движением поездов, железнодорожные станции, отказы, синтез систем управления.

Для цитирования: Ефанов Д. В. Обзор книги «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов» // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 122–124. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-16>.

Полный текст статьи-рецензии 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.

Проблемам построения безопасных систем управления на транспорте и в промышленности посвящено большое количество работ, опубликованных с момента зарождения методов их синтеза как на релейной, так и на микроэлектронной и микропроцессорной основах до настоящего времени. Техника и элементная база постоянно совершенствуются, двигаясь соразмерно научно-техническому прогрессу. Меняются и компоненты, и методы реализации устройств на них, уменьшаются их габариты, снижаются пороги срабатывания элементов и т.д. Те крупные устройства, которые полвека назад выполняли простейшие операции включения или выключения объектов управления, заменяются устройствами, которые порой трудно различить невооруженным взглядом. Человечество переходит от реализации малофункциональных устройств к многофункциональным, способным размещаться в пространстве минимального объёма. Следует подчеркнуть эффект от прогресса в области, например, микроэлектроники: движением поездов на железнодорожной станции вполне может управлять современный смартфон взамен целой установки электрической централизации. Другой вопрос, это, конечно, обеспечение надёжного и безопасного выполнения алгоритмов управления с помощью миниатюрной техники!

Осенью 2021 года вышла в свет уникальная по своему наполнению книга, написанная нашим соотечественником и крупным учёным в области железнодорожной автоматики и телемеханики, заслуженным деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором Владимиром Владимировичем Сапожниковым (рис. 1), внёсшим колоссальный по своим масштабам вклад в развитие методов синтеза надёжных и безопасных систем управления на транспорте. Книга получила название «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов» (рис. 2) и охватывает фундаментальные основы абстрактного и структурного синтеза систем управления движением поездов на железнодорожных станциях.

Необходимо отметить, что в большом количестве стран железнодорожные сети раздроблены на станции и перегоны. На станциях, в отличие от перегонов, имеется путевое развитие, уложены железнодорожные стрелки и выполняются все основные операции с вагонами, локомотивами, поездами. Именно поэтому наиважнейшим вопросом является организация управления движением по станции. На перегоне этот процесс к настоящему



Рис. 1. Автор книги – Владимир Владимирович Сапожников (1940–2020).

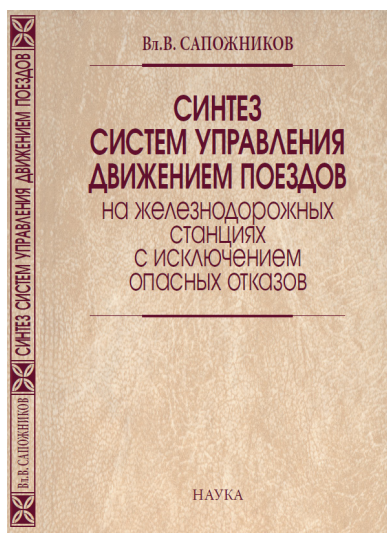


Рис. 2. Обложка книги «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов».

времени доведён до автоматизма: светофоры фактически переключаются самими движущимися поездами. Для регулирования движения поездов, маневровых составов и локомотивов на станциях используются технические средства железнодорожной автоматики и телемеханики, на которые воздействуют дежурные по станциям (в ряде систем предусмотрены режимы автодействия). Системы управления реализуются таким образом, чтобы исключить и влияние человека на безопасность выполнения алгоритмов, и влияние внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. Таким образом, задача реализации схемных решений по надёжному и безопасному вы-



полнению алгоритмов управления объектами автоматизации на станциях является наиважнейшей. В освещаемом издании как раз и фокусируется внимание на решении данной задачи.

В представленной книге схемы железнодорожной автоматики и телемеханики представляются в виде одноконтурных (комбинационных) и многоконтурных (обладающих памятью) автоматов – конечных автоматов. Ставится научная задача синтеза безопасного автомата – такого автомата, в работе которого исключаются ложные воздействия, вызывающие срабатывание объектов управления и выполнение ими функций, не заложенных в алгоритмах. Из практической плоскости автор переводит решение задачи в теоретическую, благодаря использованию алгебры регулярных событий. А сами опасные переходы из состояния в состояние исключаются на этапе абстрактного синтеза конечного автомата.

Сформулировано важнейшее для теории синтеза безопасных систем управления в виде конечных автоматов положение (теорема о безопасных автоматах): опасные отказы в работе конечного автомата отсутствуют тогда и только тогда, когда для всех ложных переходов $S_i \rightarrow S_f$ и для всех ложных событий k выполняется условие:

$$E_{S_i \rightarrow S_f} E_{f(k)} \cap E_{on_k} = \emptyset,$$

где $E_{S_i \rightarrow S_f}$ есть множество слов, соответствующих ложным переходам конечного автомата из состояния S_i в состояние S_f ;

$E_{f(k)}$ – множество слов, переводящих конечный автомат из состояния S_f в состояния, представляющие ложные события из множества E_k ;

E_{on_k} – множество слов, переводящих конечный автомат в опасные состояния.

Введённые автором на основе регулярных выражений условия позволили сформировать алгоритмы синтеза конечных автоматов, которые исключают их переходы в опасные состояния при любых отказах, с вероятностью которых необходимо считаться. Для исключения опасных отказов в автомате достаточно запретить все опасные ложные переходы.

Книга разделена на четыре главы, охватывающие следующие основные вопросы:

1. Основы синтеза конечных автоматов с исключением опасных отказов.

2. Основы синтеза схем на релейной основе с исключением опасных отказов.

3. Основы абстрактного синтеза электрической централизации.

4. Основы структурного синтеза электрической централизации.

К каждой главе автор даёт краткие выводы, фокусирующие внимание читателя на основных положениях, определяющих особенности анализа и синтеза безопасных конечных автоматов и непосредственно схем электрической централизации стрелок и сигналов.

Примечательно то, что результаты, описанные автором в книге, не имеют привязки к конкретной элементной базе, а все рассмотренные реализации являются фактически примерами синтеза схем управления на релейной основе и на простейших логических элементах. Описанные теоретические основы не только актуальны для текущего этапа развития транспортной отрасли, но и будут востребованы в будущем. Сложно даже охватить тот период, в течение которого данная книга всё ещё «останется современной». Более того, описанные в книге теоретические основы легко распространяются на иные практические приложения как в транспортной отрасли, так и в промышленности.

По опыту работы в практической сфере, необходимо отметить, что настоящее издание будет полезно инженерам и разработчикам безопасных систем управления, контроля и мониторинга. Использование материалов данной книги помогло бы решению большого числа вопросов. В настоящее время ряд инженеров и разработчиков вынужден повторять путь, уже проделанный автором, хотя правильнее использовать накопленный опыт и наращивать результаты, охваченные данной книгой.

Книга профессора Вл. В. Сапожникова «Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов» рекомендуется к прочтению не только инженерами, разработчиками, студентами, аспирантами и преподавателями в области железнодорожной автоматики и телемеханики, но и специалистами в сфере синтеза систем управления в иных железнодорожных, транспортных и промышленных сегментах. ●

Информация об авторе:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.09.2021, принята к публикации 05.11.2021.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Текст на английском языке публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published
in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-17>

Гордон М. А. Методы и алгоритмы автоматизации синтеза взаимозависимостей положения стрелок и показаний светофоров в системах электрической централизации / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 16 с.

Основной целью диссертационного исследования является совершенствование методов и алгоритмов автоматизации синтеза взаимозависимостей положения стрелок и сигнальных показаний в маршрутах электрической централизации (ЭЦ).

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- предложена цифровая модель таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах (ТВЗ), позволяющая хранить всю информацию о зависимостях ЭЦ станции;
- разработаны методы автоматизированного синтеза ТВЗ по цифровой модели схематического плана, позволяющие сократить затраты на её создание в 10–12 раз;
- описаны особенности в зависимостях ЭЦ на станциях стыкования различного рода тягового тока и разработаны алгоритмы автоматизированного синтеза ТВЗ на такой станции;
- разработаны алгоритмы автоматизированного синтеза таблиц предварительных испытаний, индивидуальных испытаний «вхолостую», испытаний при комплексном опробовании, входящих в электронный журнал испытаний (ЭЖИ), используя шаблоны;
- спроектирована структурная схема цифровой модели функциональной провер-

ки проектов систем ЭЦ на базе универсального электронного формата технической документации.

В работе получены следующие основные результаты:

- установлено, что большого количества ошибок в проектах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) можно избежать при развитии и внедрении эффективных систем автоматизированного проектирования и автоматизированной экспертизы проектных решений;

- установлено, что для информационной совместимости различных задач в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» необходима формализация представления проектной документации – создание универсального электронного формата технической документации (УЭФ ТД);

- предложена структура данных электронной ТВЗ в УЭФ ТД, представленная в виде пяти элементов. Определены состав и требования к алгоритмам автоматизированного синтеза ТВЗ;

- алгоритм автоматизированного синтеза таблицы маршрутов с использованием цифровой модели топологии станции в виде ориентированного графа, разработанный на основе метода поиска в глубину, позволил обеспечить корректность и полноту множества возможных маршрутов;

- с использованием метода поиска по шаблонам разработаны алгоритмы автоматизированного синтеза случаев дополнительного замыкания стрелок и негабаритных стрелочно-путевых участков и таблицы взаимозависимости показаний. При этом обеспечивается корректировка шаблонов на уровне исходных данных без изменения алгоритмов;

- отдельным типом станции является станция стыкования различного рода тока, особенности зависимостей системы ЭЦ которой ранее нигде не были описаны. На таких станциях ЭЦ дополнительно контролирует вид тока (постоянный или переменный) в контактной сети. Предложен метод формализации ТВЗ станций стыкования, основанный на формировании графа второго уровня элементов контактной сети;

- экспериментальные исследования показали, что использование предложенных методов и алгоритмов автоматизированного синтеза ТВЗ позволяет повысить производительность труда в 10–12 раз;



– проведение проверки технической документации требует вести ЭЖИ, который должен включать в себя необходимые для конкретной станции таблицы испытаний и может хранить в себе эталонные значения проверок. Данный журнал может также использоваться при проведении пусконаладочных работ. Предложенные алгоритмы синтеза таблиц ЭЖИ обосновывают полноту необходимых проверок для экспертизы тем, что они разработаны на базе типовых методик испытаний на конкретную систему ЭЦ, которые описывают необходимый и достаточный перечень испытаний;

– разработанная схема цифровой модели для функциональной проверки проектов систем ЭЦ на базе УЭФ ТД позволяет выполнить проверку технической документации проекта на соответствие нормативной документации и проверить работоспособность схемных решений.

05.22.08 – Управление процессами перевозок.

Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Жетесова Г. С. Системные механизмы взаимодействия при реализации стратегии качества ESM в условиях индустриально-инновационного развития Республики Казахстан / Автореф. дис... докт. техн. наук. – М.: МАИ, 2021. – 44 с.

В результате проведения диссертационных исследований решена научная проблема разработки системных механизмов реализации новой стратегии качества ESM, базирующейся на формировании сетевого распределения ответственности субъектов образования, науки и производства и имеющей важное хозяйственное значение для индустриально-инновационного развития Республики Казахстан.

Установлены комплексы показателей в рамках сформулированных базовых стратегий с учётом факторов межотраслевого влияния образования, науки и производства на основе перекрёстного анализа нормативных правовых актов, программ-

ных документов Республики Казахстан, заключений отечественных и зарубежных экспертов, обработки большого объёма статистических данных и выявленных приоритетных направлений развития.

Сформулирована ответственность за реализацию комплекса совместных мероприятий и уровни взаимного влияния субъектов треугольника ESM, выявлены структурные элементы процесса межсубъектного взаимодействия и персональный вклад субъектов для достижения поставленной цели, ориентированной на результат.

Разработана посубъектная методология реализации комплекса стратегических решений на основе качественного анализа рисков по уровням их влияния.

Разработана математическая модель, устанавливающая взаимосвязь между группами критериев оценки и показателями развития со следующими граничными условиями: показатели развития $D \in$ кластерам $Cl_1 \cup Cl_2 \cup Cl_3$, $\sum D = 1$, удельный вес $x \in D$, при этом $\sum x = 1$, при коэффициенте весомости принципа $P_i > 0,05$, $\sum P_i = 1$. Построена последовательность критериев с рассчитанным коэффициентом множественной ранговой корреляции согласованности мнений экспертов 0,82.

Разработан концепт стратегии качества ESM в соответствии с выявленными принципами:

- Непрерывное образование – направленное формирование компетенций будущих специалистов, связанное с устойчивым развитием научных исследований и производства;
- Коллективная ответственность субъектов научно-производственно-образовательного процесса – подготовка кадров, обладающих востребованными в различных секторах экономики компетенциями, креативным мышлением и предпринимательскими навыками;
- Перспективное планирование – последовательная оценка уровня потребности в инженерно-технических кадрах с учётом развития отраслей экономики;
- Развитие человеческого капитала – направленное, непрерывное и системное развитие научно-педагогических кадров в соответствии с требуемой для инновационной экономики структурой компетенций;

- Гарантированная востребованность – подготовка кадров, направленная на удовлетворение потребностей рынка труда;

- Корпоративное управление – реализация принципиально новой политики организаций образования в отношении разделения полномочий и определения совокупной ответственности всех участников образовательного процесса;

- Модернизация образовательно-производственной среды – целенаправленное приведение имеющихся учебных, научных лабораторий, информационных ресурсов организации образования в соответствие с основными потребностями производства.

Отличительной чертой концепта стратегии качества ESM является то, что её применение обеспечивает распределение ответственности между субъектами взаимодействия «Образование», «Наука», «Производство» за качество конечного результата – человеческий капитал.

Внедрена методология реализации комплекса стратегических решений в рамках стратегии качества ESM в 87 организациях образования Республики Казахстан, на 101 промышленном предприятии и научно-исследовательских институтах РК. Устойчивость внедрённой стратегии качества подтверждена экспертной оценкой. Результаты диссертационной работы имеют применение в учебном процессе при подготовке студентов, магистрантов и докторантов.

Разработанная модель является чувствительной к аспектам государственной политики, и в качестве рекомендаций по применению результатов диссертационных исследований предлагается её дальнейшее развитие и адаптация в странах ЕАЭС.

Перспективы дальнейшей разработки исследований состоят:

- в углублённом исследовании особенностей распределения ответственности при увеличении количества внешних факторов;

- в расширении области исследований по реализации возможных стратегий на основе сочетаний предлагаемых решений по шести и более линиям влияния внешних и внутренних факторов;

- в детальном исследовании процессов при обновлении и расширении межсубъектных взаимосвязей в условиях измене-

ния приоритетных направлений государственной политики Республики Казахстан;

- в исследовании гибкости и применимости модели качества ESM в условиях смещения акцентов на науку и производство;

- в исследовании возможности трансформации модели при увеличении субъектов взаимодействия и изменении её конфигурации.

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции.

Работа выполнена и защищена в Московском авиационном институте (национальный исследовательский университет).

Малахов С. В. Оптимизация энергозатрат на тягу поездов на основе уточнённого метода тяговых расчётов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 20 с.

Снижение энергозатрат на тягу поездов может быть достигнуто несколькими путями: развитие методов энергооптимального нормирования в случаях ручного ведения поезда, разработка и внедрение систем энергооптимального автоматического ведения поезда, повышение энергоэффективности тягового подвижного состава (ТПС), повышение энергоэффективности источников электроснабжения и др.

Первые два направления не требуют существенных капиталовложений и могут быть реализованы за счёт применения прикладной части теории тяги поездов – тяговых расчётов. Однако, методы выполнения тяговых расчётов до последнего времени не позволяли одновременно повысить точность, снизить время расчёта и сократить потребность в вычислительных ресурсах, что особенно важно для автоматического ведения поезда или для выполнения многих параллельных расчётов. Предлагаемый комплексный подход позволяет расширить возможности применения тяговых расчётов в системах, требующих решения оптимизационных задач при постоянно меняющихся условиях.

Таким образом, задача снижения энергозатрат на тягу поездов является актуальной и может быть решена за счёт совершенствования методологии тяговых расчё-



тов в части повышения точности при одновременном сокращении временных затрат на расчёт, что важно для применения в перспективных беспилотных системах управления поезда.

Целью диссертации является совершенствование метода тягового расчёта для получения энергооптимальных траекторий движения поезда и программная реализация предложенной методики.

Научная новизна:

а) разработан метод тягового расчёта с применением ИНС для модели поезда в виде дискретных тел и локомотива с дискретным управлением тягой;

б) предложена эффективная численная реализация метода оптимального тягового расчёта, основанного на принципе оптимальности Беллмана, отличающаяся тем, что находятся энергооптимальные траектории для всех возможных времён хода по участку, и адаптированного для обучения ИНС;

в) разработан программный комплекс для оперативного нормирования энергозатрат на тягу поездов с непрерывным обучением нейросети;

г) выбрана архитектура и определена специфика размещения нейросети в качестве оптимального регулятора движения поезда в изолированной программной среде для перспективных локомотивных микропроцессорных систем управления движением поезда.

Проведён анализ методов тяговых расчётов, в результате чего сделан вывод о целесообразности получения единственного лучшего вектора управления поездом. Поэтому сформулирована задача оптимального тягового расчёта с целью снижения энергозатрат и определён метод её решения.

Подобран современный математический аппарат, наиболее применимый для решения сформулированной оптимальной задачи.

Разработан алгоритм и на его основе ПО для выполнения оптимальных тяговых расчётов.

Проанализированы результаты тяговых расчётов, выполненных разработанным ПО, в части применимости для практических задач. Определены существенные ограничения разработанного ПО, которые

требуют применения поиска новых методов выполнения тяговых расчётов.

Разработан новый улучшенный метод выполнения оптимальных тяговых расчётов с повышенной точностью, с меньшими затратами времени и вычислительных ресурсов. Основное преимущество разработанного метода – уменьшение времени регулирования и снижение энергии по отношению к упрощённым моделям, снижение требований к аппаратному обеспечению как в условиях стационарного использования, так и в условиях работы на борту локомотива, а также непрерывное улучшение решений с помощью дообучения.

Проведён сравнительный анализ нового метода выполнения оптимальных тяговых расчётов с методом Беллмана в условиях стационарного использования. Полученные результаты показывают достижение поставленных целей разработки улучшенного метода тяговых расчётов.

Разработан механизм внедрения нового ПО оптимальных тяговых расчётов на основе метода ИНС в перспективные локомотивные системы управления движением поезда. Разработанный метод ИНС позволяет применять унифицированное аппаратное обеспечение для различных типов поездов, а значит органично вписаться в архитектуру перспективных бортовых устройств безопасности, управления и диагностики, что обеспечивает выполнение требований концепции цифровой железной дороги и способствует выполнению показателей долгосрочных планов развития дирекций ОАО «РЖД».

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта.

Морозов Е. Б. Исследование взаимодействия грунтового массива с экраном из разреженного ряда свай / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.

Цель диссертационной работы – разработка методики определения оптимальных

параметров конструкции защитного геотехнического экрана из разреженного ряда свай в зависимости от необходимой степени снижения дополнительной осадки рядом расположенного здания.

Одним из основных конструктивных решений ограждений котлованов в сложных инженерно-геологических условиях и высоком уровне стояния подземных вод является монолитная железобетонная «стена в грунте» траншейного типа, применение которой в теснённых условиях городского строительства осложняется существенным влиянием её устройства на окружающую застройку. По имеющимся данным, дополнительные осадки зданий окружающей застройки, вызванные устройством траншеи под «стену в грунте», могут достигать 80 % от общих дополнительных осадок, вызванных возведением нового объекта.

Возможным вариантом защитных мероприятий по снижению влияния устройства «стен в грунте» на осадки окружающей застройки является геотехнический экран из разреженного ряда свай, эффективность применения которого для этой цели показана выполненными в настоящей диссертации численными исследованиями, по данным которых осадки защищаемого здания за счёт устройства указанного экрана могут быть снижены на 30...75 %.

Проведёнными исследованиями установлено, что эффективность применения экрана из разреженного ряда свай, характеризующая коэффициентом эффективности $K_{\text{эф}}$, увеличивается с увеличением диаметра и длины свай и уменьшается с увеличением расстояния между ними, глубины траншеи и её расстояния от здания, а также с увеличением модуля деформации грунтового массива.

Факторным анализом, основанном на теории планирования эксперимента, определено, что наибольшей степенью влияния на эффективность применения геотехнического экрана из разреженного ряда свай для защиты зданий и сооружений окружающей застройки от развития дополнительных осадок, вызванных устройством траншеи под «стену в грунте», обладают глубина разрабатываемой траншеи, её расстояние относительно фундамента здания, диаметр и длина свай экрана, меньшее

влияние оказывают модуль деформации грунтового массива и относительное осевое расстояние между сваями. При расчёте геотехнического экрана все перечисленные факторы следует рассматривать, как значимые.

Показано, что применение защитного экрана из разреженного ряда свай наиболее эффективно при его устройстве до глубины, составляющей не более 1,2 глубины траншеи и его расположении ближе к ней. Эффективность применения экрана существенно выше в песчаных грунтах по сравнению с глинистыми.

Расчёты показали, что устройство свай экрана из буровых свай, выполненных с выемкой грунта, существенно снижает коэффициент эффективности его применения для защиты от развития дополнительных осадок зданий, расположенных в зоне влияния строительства. Более эффективен экран из металлических ввинчиваемых свай.

Установленные функциональные зависимости (уравнения регрессии) коэффициента эффективности применения геотехнического экрана от варьируемых факторов, представленные в виде номограмм для различных грунтовых условий и двух технологий изготовления свай, позволяют существенно упростить подбор основных размеров защитной свайной конструкции.

Разработана методика оптимизации конструктивных параметров геотехнического экрана из разреженного ряда свай, позволяющая подобрать такое их сочетание, при котором дополнительные осадки здания, вызванные разработкой «стен в грунте» траншейного типа, будут снижены до заданных величин при одновременном достижении наилучших технико-экономических показателей экрана по расходу материала.

Полученные с использованием классических решений механики грунтов аналитические решения, описывающие физический процесс взаимодействия элементов системы «траншея – грунтовый массив – геотехнический экран – фундамент здания», могут быть использованы для проверки результатов численных расчётов, а также для выполнения предварительных расчётов геотехнических экранов и дополнительных осадок фундаментов защищаемых ими зданий по упрощённым схемам.



Разработанный на основе проведённых аналитических исследований алгоритм расчёта позволяет, варьируя конструктивными параметрами защитного экрана, определить такое их сочетание, при котором дополнительные осадки здания, вызванные разработкой траншеи под «стену в грунте», будут снижены до заданных значений при минимальном расходе материалов на 1 п. м. его устройства.

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения.

Работа выполнена в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете, защищена в Российском университете транспорта.

Хромов И. Ю. Анализ влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.

Существенным и наиболее масштабным изменением в железнодорожном комплексе в рамках реформы является разделение функции эксплуатации и функции технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов, для обеспечения деятельности которых созданы соответствующие подразделения: Дирекция тяги (ЦТ) – филиал ОАО «РЖД» и Дирекция по ремонту тягового подвижного состава (ЦТР) – филиал ОАО «РЖД». С целью повышения качества ТОиР и системы эксплуатации локомотивов, с 1 июля 2014 года основные функции ТОиР переданы частным сервисным компаниям (ООО «ТМХ Сервис» (теперь – ЛокоТехСервис) и ООО «СТМ–Сервис»), оплата работы которых производится не за количество выполненных ремонтов, а за полезную работу локомотивов – километры пробега для магистральных локомотивов и часы работы для маневровых. Благодаря этому появилась заинтересованность в увеличении безремонтных пробегов локомотивов и их полезной работы, улучшении технического состояния локомотивного парка

Цель исследования – повышение надёжности локомотивов за счёт выявления закономерностей между режимами эксплуатации и техническим состоянием локомотивов

по данным бортовых микропроцессорных систем управления локомотивов для использования в автоматизированных системах управления ТОиР в условиях сервисных ремонтных локомотивных депо.

Научная новизна диссертационной работы:

- научно доказаны или подтверждены закономерности между нарушениями режимов эксплуатации (НРЭ) локомотивов и их техническим состоянием;

- разработан усовершенствованный научно обоснованный классификатор нарушений режимов эксплуатации с указанием их возможного влияния на техническое состояние локомотивов;

- разработан метод защиты локомотивов от опасных нарушений режимов эксплуатации с использованием бортовых микропроцессорных систем управления для существующего и расширенного набора датчиков технического состояния оборудования локомотивов;

- разработан метод автоматизированного планирования объёма технического обслуживания и ремонта локомотивов в условиях сервисных локомотивных депо при наличии нарушений режимов эксплуатации;

- выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности реализации предлагаемых технических решений.

В результате проведённых научных исследований получены новые законченные научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности функционирования локомотивного комплекса ОАО «РЖД». Основные научные и практические результаты научного исследования состоят в следующем:

- научно обоснована закономерность между нарушениями режимов эксплуатации и ухудшением технического состояния локомотивов, для чего обработан расширенный объём статистических данных об эксплуатации локомотивов (более 21,1 млн событий за 12 месяцев по 85 сервисным локомотивным депо) с использованием методов вероятностно-статистического и корреляционного анализа, что позволило выявить наличие нарушений режимов эксплуатации локомотивов, существенно влияющих на их техническое состояние. Основными нарушениями следует считать

нарушения, связанные с несоблюдением температурных режимов теплоносителей и несоблюдением скоростных режимов при следовании на руководящем подъёме. Анализ физических процессов и корреляционный анализ позволили выявить возникающие при этом отказы или ухудшение технического состояния, при этом наиболее подвержены влиянию дизель и дизельное оборудование грузовых тепловозов (у пассажирских и маневровых влияние меньше), тяговые электродвигатели и колёсно-моторный блок магистральных грузовых тепловозов и электровозов, причём независимо от года выпуска. При этом коэффициент корреляции между различными нарушениями и наличием отказов составлял от 0,537 до 0,989. Среднее значение коэффициента корреляции по исследуемым зависимостям составило 0,805, что позволяет судить о наличии высокой корреляционной связи, между нарушениями и отказами оборудования. В системе ТОиР необходим учёт режимов эксплуатации локомотивов;

– на основании проведённых научных исследований разработан расширенный классификатор типовых (имеющих место на практике) нарушений режимов эксплуатации с указанием последствий, которые они могут оказать на техническое состояние локомотива. Классификатор состоит из 54 нарушений, определяемых по более чем 30 локомотивным сериям и группам серий. Классификатор согласован с сервисными компаниями, утверждён и введён в действие в Дирекции тяги ОАО «РЖД» в систему сервисного обслуживания локомотивов;

– для защиты локомотивов от опасных режимов эксплуатации разработан комплекс алгоритмов, которые реализованы в программном обеспечении бортовых МСУ тепловозов серий ТЭП70БС приписки ТЧЭ «Саратов-Пассажирское», 2ТЭ116У приписки ТЧЭ «Дно» и 2(3) ТЭ10МК(УК) приписки ТЧЭ «Комсомольск-на-Амуре». Алгоритмические защиты позволили снизить число неплановых ремонтов защищаемого оборудования в среднем в три раза;

– предложен расширенный набор датчиков: необходимо дополнительно контролировать температуру обмотки ТЭД (якорной, главных и добавочных полюсов), температуру окружающего воздуха и виброускоре-

ния экипажной части локомотива. В остальном существующий набор датчиков достаточен для контроля режимов эксплуатации;

– для автоматизированной системы управления ТОиР разработан метод практического использования данных о режимах эксплуатации локомотивов при индивидуальном формировании объёма ремонта на плановых и неплановых видах технического обслуживания и ремонта, представляющий собой разработанное для АСУ ТОиР группы компаний «ЛокоТех» автоматизированное рабочее место диагноста с модулем «Корреляция НР-НРЭ» и внедрённое в работу в 85 сервисных локомотивных депо.

На основании проведённого анализа данных за 12 месяцев 2018 года по неплановым ремонтам, произошедшим из-за нарушений режимов эксплуатации, разработана матрица влияния нарушений режимов эксплуатации на локомотивы, позволяющая своевременно оценивать наиболее подверженные нарушениям серии локомотивов и их оборудование и разрабатывать соответствующие корректирующие мероприятия, актуальные в конкретный исследуемый период.

Эффект от внедрения результатов исследования достигается за счёт снижения затрат на неплановые ремонты, снижение количества нарушений режимов эксплуатации и уменьшения трудоёмкости при исследовании НР. Имеются справки о внедрении результатов исследований.

В качестве рекомендаций для дальнейшего повышения надёжности локомотивов, улучшения их технического состояния и исключения отрицательного влияния человеческого фактора рекомендуется организовать непрерывный мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации по данным бортовых МСУ с дистанционной (в режиме online) передачей данных в сервисные предприятия для предварительного планирования работ и заказа запасных частей и материалов, совершенствования методов ТОиР с постепенным переходом на ремонт по фактическому техническому состоянию.

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация
Работа выполнена и защищена в Российском университете транспорта. ●



НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

**Список на английском языке публикуется
во второй части данного выпуска.**

**The list of titles in English is published
in the second part of the issue.**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-18>

Аблязов Э. К., Аблязов К. А. Производственно-техническая инфраструктура транспортных предприятий: Учеб. пособие. – Новороссийск: ГМУ, 2021. – 120 с.

Бабалич В. С., Сухин К. А., Сухина К. Н. Нормативная база в строительстве: Учеб. пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. – 116 с. ISBN 978-5-9948-3986-7.

Гвилия Н. А. Системная организация корпоративной логистики транспортного бизнеса в условиях цифровизации: Монография. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2021. – 228 с. ISBN 978-5-7310-5310-5.

Гуреева М. А. Основы экономики машиностроения: Учебник. – 4-е изд., стер. – М.: Академия, 2021. – 255 с. ISBN 978-5-4468-9932-6.

Даниленко М. И. Логистическое обеспечение жизненного цикла продукции: Учеб. пособие. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – 112 с. ISBN 978-5-8353-2751-5.

Еремин А. В., Волокитина О. А., Гладышева О. В., Алимова Н. Ю. Основы проектирования автомобильных дорог: Учеб. пособие. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. – 114 с. ISBN 978-5-7731-0958-7.

Касьянов О. Н., Томилин А. Н. Педагогические условия формирования готовности будущих специалистов морских профессий к профессиональной деятельности в экстремальных ситуациях: Монография. – Новороссийск: ГМУ, 2021. – 126 с. ISBN 978-5-89426-175-1.

Катин В. Д. Эколого-технические исследования горелочных устройств печей и котлов на предприятиях переработки нефти и железнодорожного транспорта: Монография. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2021. – 203 с. ISBN 978-5-262-00900-8.

Кизим А. А., Бекирова С. З., Березовский Э. Э. Аутсорсинг и инсорсинг в управлении деятельностью и рисками организаций: международный и российский аспекты: Учеб. пособие. – Краснодар: КубГУ, 2021. – 272 с. ISBN 978-5-8209-1863-6.

Курочкин Л. Е., Подпорин С. А., Холощев А. В. Рекомендации по оценке влияния арктических вторжений при выборе маршрута плавания в Северной Атлантике: Учеб. пособие. – М.: Центраталог, 2021. – 72 с. ISBN 978-5-903268-54-2.

Лимонов Э. Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки: Учебник. – 6-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Модуль, 2021. – 663 с. ISBN 978-5-6045830-8-1.

Мищенко А. В., Иванова А. В. Оптимизационные модели управления ограниченными ресурсами в логистике: Монография. – М.: Инфра-М, 2021. – 250 с. ISBN 978-5-16-016130-3.

Молоков К. А., Новиков В. В., Турмов Г. П. и др. Математические модели оценки эксплуатационного ресурса и работоспособности судовых сварных конструкций: Монография. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2021. – 237 с. ISBN 978-5-7444-4945-2.

Никишов С. И. Адаптивно-интегрированная логистика и искусственный интеллект. – М.: Белый ветер, 2021. – 215 с. ISBN 978-5-907420-13-7.

Оплетаева Н. В., Антерейкин Е. С., Дёмина О. А. Железнодорожный путь: изыскания, устройство, текущее содержание: Учеб. пособие. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2021. – 88 с. ISBN 978-5-00148-209-3.

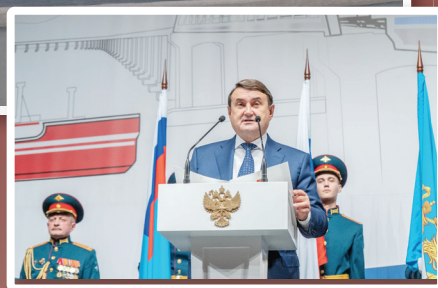
Потеев Д. А., Тонких А. С., Митрофанова Н. В. и др. Оценка сбалансированности развития морского транспорта: Учеб. пособие. – М.: Альпен-Принт, 2021. – 51 с. ISBN 978-5-6045948-3-4.

Рупосов В. Л. Основы проектной логистики: Учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во Иркутского нац. исследовательского технического университета, 2021. – 237 с. ISBN 978-5-8038-1630-0.

Симонян Т. В., Теренина И. В., Цветкова С. Н. и др. Маркетинг и инженерная экономика: теория, методология и практика: Монография. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 235 с. ISBN 978-5-7890-1858-3.

Цыганская Л. В., Таничева Н. А., Рахимов Р. В. Автоматизированное проектирование подвижного состава: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2021. – ISBN 978-5-7641-1505-4.

Составила Н. Олейник ●



ПРАЗДНИЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СЛУЧАЮ ЮБИЛЕЯ РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТРАНСПОРТА

В 2021 году ведущий национальный транспортный вуз нашей страны – Российский университет транспорта – отмечает 125-летие со дня своего основания. Этому событию был посвящён ряд материалов в вышедших в этом году номерах журнала.

В праздничных мероприятиях, прошедших 28 сентября 2021 года, приняли участие помощник Президента России Игорь Левитин, министр транспорта Виталий Савельев и ректор РУТ Александр Климов.

В торжественной обстановке И. Е. Левитин и В. Г. Савельев вручили государственные и ведомственные награды работникам и ветеранам университета.

«За 125 лет своего существования университет подготовил свыше 680 тысяч специалистов, которые сформировали надёжную базу для эффективного функционирования отрасли, – сказал министр, обращаясь к присутствующим. – Мне приятно сообщить, что Президент Российской Федерации отметил работу сотрудников вуза высокими государственными наградами, что является высшей формой признания их заслуг перед страной».

Министр поздравил многотысячный коллектив главного транспортного университета страны со знаковой датой и пожелал новых свершений и побед в профессиональной деятельности.

Участники праздничных мероприятий посетили детский технопарк «Москов-



ский транспорт» и Дом молодёжи Российского университета транспорта.

Состоялась приуроченная к юбилею вуза конференция трудового коллектива университета, в которой приняли участие представители Минтранса России, члены Учёного совета, заведующие кафедрами институтов, руководители структурных подразделений РУТ.

Поздравить вуз с юбилеем собрались почётные гости, иностранные партнёры, выпускники и сотрудники университета.

Помощник Президента Российской Федерации, председатель Попечительского совета РУТ (МИИТ) Игорь Евгеньевич Левитин выступил с приветствием от Президента Российской Федерации В. В. Путина.

Министр транспорта Российской Федерации, председатель Наблюдательного совета Российского университета транспорта Виталий Геннадьевич Савельев обратился с приветствием от Председателя Правительства Российской Федерации М. В. Мишустина.

В этот вечер с поздравлениями и напутствующими словами выступили: член Комитета Совета Федерации Федерального собрания Российской Федерации по науке, образованию и культуре Римма Фёдоровна Галушина; заместитель председателя Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации Алексей Васильевич Гордеев; заместитель генерального директора открытого акционерного общества «Российские железные дороги» Дмитрий Сергеевич Шаханов; генеральный директор – председатель правления Публичного акционерного общества «Совкомфлот» Игорь Васильевич Тонковидов; дважды министр путей сообщения, первый президент компании «Российские железные дороги» Геннадий Матвеевич Фадеев.

**По материалам пресс-центра
Министерства транспорта
Российской Федерации и РУТ
(МИИТ):**

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10048>; <https://www.mii.ru/news/177606> ●



FESTIVE EVENTS MARKING ANNIVERSARY OF RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT

The leading national transport university of our country – the Russian University of Transport – celebrates in 2021 the 125th anniversary of its foundation. Many publications of this year's issues of the journal were devoted to this remarkable event.

The festive events held on September 28, 2021, were attended by Igor Levitin, Assistant to the President of Russia, Vitaly Savelyev, Minister of Transport, and Alexander Klimov, rector of RUT University.

In a solemn atmosphere, Igor Levitin and Vitaly Savelyev handed over state and departmental awards to employees and veterans of the university.

«During 125 years of its existence, the university has trained over 680,000 specialists whose efforts formed a reliable basis for the effective functioning of the industry», the minister said, addressing the audience. «I am pleased to announce that the President of the Russian Federation marked the work of the university staff with high state awards, which is the highest form of recognition of their merits to the country».

The Minister congratulated academic staff and employees of the university on the landmark date and wished them new achievements and victories in professional activities.

Participants of the festive events visited the children's «Moscow Transport»



technological park and the Youth House of the Russian University of Transport.

A conference of the university's staff dedicated to the anniversary of the university was attended by representatives of the Ministry of Transport of Russia, members of the Academic Council, heads of departments of institutes, heads of structural units of RUT University.

Honorary guests, foreign partners, graduates, and employees of the university gathered to congratulate the university on its anniversary.

Igor Levitin, Assistant to the President of Russian Federation and Chairman of the Board of Trustees of the Russian University of Transport, read the message of Vladimir Putin, President of the Russian Federation.

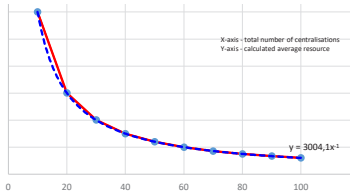
Vitaly Savelyev, Minister of Transport of the Russian Federation, Chairman of the Supervisory Board of the Russian University of Transport, addressed the audience a greeting message from the Chairman of the Government of the Russian Federation Mikhail Vladimirovich Mishustin.

This evening, congratulations and wishes were extended by Rimma Galushina, Member of the Committee on Science, Education and Culture of the Council of Federation of the Federal Assembly of the Russian Federation; Alexey Gordeev, Deputy Chairman of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation; Dmitry Shakhanov, Deputy Director General of Russian Railways JSC; Igor Tonkovidov, Chief Executive Officer and Chairman of the Management Board of Sovcomflot PJSC; Guennady Fadeev, former minister of railways and first president of the Russian Railways company.

Compiled based on the news released by the press-centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation and Russian University of Transport:

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10048;>

<https://www.mii.ru/news/177606> ●



RAILWAYS: CENTRALISED TRAFFIC CONTROL

134

Approaches to evaluation of useful and residual life of routed relay centralised traffic control systems under the conditions of variety of classes, types, and features of relays in operation. Comparison of data and application of deterministic and probabilistic methods. Suggestion of technologically and economically justified practical solutions towards reasonable optimisation.

TELECOMMUNICATIONS AND DIGITALISATION

145

Switching of optical data channels using photon switches. To solve global tasks it is necessary to solve first the applied local ones. Analysis of Spanke networks with predetermined capacity to calculate probability of internal blocking.



TRACKED ROAD TRAINS TO TRANSPORT CONTAINERS

151

Relevance of comprehensive comparison of different versions of design of vehicles for off-road container transportation. Looking for optimal structural design and layout based on analytic hierarchy process. The final choice of two alternative options is justified but supposes further research.



SCIENCE AND ENGINEERING





Evaluation of the Useful and Residual Life of a Class of Relay-Based Centralised Traffic Control Systems



Rumen Dimitrov

TINSA Ltd., Sofia, Bulgaria.
✉ rudimitrov@mail.bg.

Rumen DIMITROV

ABSTRACT

Currently in Bulgaria, the main railway lines (corridors) are being modernised to increase train speed up to 160/200 km/h, which necessitates adoption of modern European traffic control systems (ERTMS/ETCS, classified as so-called class A systems). The remaining sections continue to operate mainly relay-based systems for ensuring safety of train traffic (the so-called class B systems). These systems include, first, station centralised traffic control systems, most of which are currently route relay-based ones.

On the railways of Bulgaria, two classes of route relay-based centralised traffic control systems (RRCTCS) are operated, using respectively, the relays of so called «first class of reliability», and the relays of the so called «not first class of reliability».

The inevitable increase in the age of RRCTCSs makes it necessary to assess their technical condition and technical suitability to clarify strategies for their further operation.

Such an assessment is difficult due to the lack, first, of statistical data on the failures and reliability parameters during operation as per types of systems and their constituent elements and, second, of manufacturers' recommendations on the service life of RRCTCS.

The service life and residual service life, as well as the useful and residual life of RRCTCSs could, in the author's opinion, be assessed according to the following criteria:

- Electrical and mechanical useful life/wear of the components.
- Reliability parameters of the relay components.
- Electrical and mechanical useful life or the condition of the external and internal cabling.
- Operating costs required to maintain RRCTCS within the range of predefined technical parameters.

Keywords: train traffic safety, station route-based relay centralised traffic control system (RRCTCS), relays of the «first class of reliability», relays of «not first class of reliability», external cable network, internal cable network, electrical and mechanical wear resistance of components, reliability parameters of relay components.

The article analyses and evaluates the average useful life and the average residual life of RRCTCS based on the first two criteria. It is concluded that neither electrical nor mechanical wear resistance of components is among leading characteristics for assessing useful and residual life.

Two approaches are used to consider some of reliability parameters of the relay components: deterministic and probabilistic one, which are based on the «intensity of dangerous failures» characteristic of the relay of the first reliability class. Based on that characteristic, the probability of a dangerous failure of the first-class relays in operation was calculated for 58 Bulgarian RRCTCSs of N-68 type with non-routed manoeuvres, as well as the probability of their safe operation; the latter probability is proposed to be used to calculate the average residual life of the relay, and based on that, to calculate the average residual life of RRCTCSs of that type. By early 2021, the estimated maximum of the latter is 11 years.

The consequences of implementing two strategies in subsequent years are considered: a) «nothing is done» and b) «RRCTCS useful life/age management» (based on the program of gradual decommissioning of N-68 type RRCTCSs and of re-equipment of relevant stations). This is also a prerequisite for safety management of train traffic.

It is argued that an average useful life of RRCTCS could be estimated as no more than 60 years in operation. Considering additional factors, this period should be understood as a predicted value of the expected time after which the corresponding RRCTCS will reach the limit state and will be decommissioned. The average useful life and the average residual life should be considered the best guideline for the expected age limit for this type of RRCTCS.

For citation: Dimitrov, R. Evaluation of the Useful and Residual Life of a Class of Relay-Based Centralised Traffic Control Systems. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 134–144. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Statement of the Problem

In the second half of the last century, to ensure safety of train traffic at stations, two classes of relay-based centralised traffic control systems were introduced in the system of the Bulgarian Railways, the distribution of which by type is as follows:

- Those using the relays of so-called «first class of reliability» (also called «first class relays») in the Soviet (manufactured in the former Soviet Union) and Bulgarian centralised traffic control systems of the following types:

- in the Soviet relay-based centralised traffic control systems for small stations (Bulgarian abbreviation: SMG);

- in the Soviet interlocking route relay-based centralised traffic control system with routed manoeuvres of IRRCTSRM (BMRC) type;

- in the Bulgarian route relay-based centralised traffic control system with non-routed manoeuvres of N-68 type;

- in the Bulgarian route relay-based centralised traffic control system with routed manoeuvres of MN70 type;

- in the Bulgarian relay-based centralised traffic control systems for small stations of EC1 and ECM types.

- Using the relays of so-called «not first class of reliability» in centralised traffic control systems of WSSB1 and WSSB2 types, manufactures in the former DDR.

The first route relay-based centralised traffic control system, type WSSB1, was put into operation in 1959, and the least, type MN70, was commissioned in 1999.

After 1999, for various reasons, construction of relay-based centralised traffic control systems for stations was practically stopped, and therefore their age began to gradually increase, and for some stations it has approached and even significantly exceeded 50 years, for example:

- For some centralised traffic control systems of WSSB1 type, the service life by the beginning of 2021 was 61, 58 and 57 years, respectively.

- For a centralised traffic control system of N-68 type, this period was 51 years.

- For a centralised traffic control system of SMG type, it attained also 51 years.

These circumstances make it necessary to assess the technical condition and technical suitability of those centralised traffic control systems in terms of clarifying the strategy for their further operation.

While searching for applicable methodology for assessing the service life and residual service life, as well as the useful and residual life of centralised traffic control systems, the author, getting acquainted with the works [1–4] (but not exclusively those, see, e.g.^{1, 2}), came to the conclusion that the use of formalised mathematical methods of analysis and assessment of those values in this case is rather complicated due to the lack of statistical data in the country on failures during operation as per systems and their components, as well as on such parameters of reliability as time and mean time between failures, time and average recovery time after a failure, the system maintenance costs distributed over time considering inflation rates, etc.

In addition, there are no recommendations from RRCTCS manufacturers (both foreign and Bulgarian) who do not take responsibility for the duration of the service life, during which normal operation of these systems should most likely be guaranteed. On the one hand, this can be explained by marketing considerations related to market competition. On the other hand, such a strategy is understandable, since in the life cycle of RRCTCS, technical maintenance and prevention, which have an undoubted and sometimes decisive role, are outside the competence and responsibilities of manufacturers of these systems.

See the above, the current approach in the country to the question on the maximum service life of the corresponding types of RRCTCS is controversial. The first opinion can be summarised as that all the relay-based centralised traffic control systems aged over 45–50 years should be promptly decommissioned and the other one concludes that their operation can continue until signs of unsuitability appear, without specifying those signs.

The above circumstances prompted the author to try to suggest a slightly different methodology for assessing the residual service life, as well as the useful or residual resource of relay-based centralised traffic control systems operated at rail stations. In author's views, this assessment can be made according to the following criteria:

¹ Guidance document RD 26.260.004-91 [In Russian]. Guidelines. Prediction of the residual life of equipment by changing the parameters of its technical condition during operation. Moscow, 1991.

² Guidance document RD 50-423-83 [In Russian]. Guidelines. Technological reliability. Methodology for predicting the residual life of machines and parts subject to wear. Moscow, Publishing house of standards, 1984.



- Electrical and mechanical useful life/wear of components and especially of the relay components as of the main element of the RRCTCS.

- Some reliability parameters of the relay components.

- Electrical and mechanical useful life or the condition of the external and internal cable networks.

- Other criteria such as operating costs required to maintain the facility in conformity with the range of predefined parameters.

From the point of view of operation of stations' RRCTCSs, the most important goal of such an assessment should be to determine the probability of a hazard (incident) accumulated during their operation referring to safety of train traffic.

Further presentation of the study refers to the author's research on the first two criteria of evaluation of RRCTCS using relays of the first reliability as the main components.

Terms and Definitions

For certainty and unity in understanding further presentation, it would be advisable to cite the following terms and definitions used in this article, compiled based on [1]:

- *Limit state* is a state of an object when its further operation is unacceptable or impractical, or when restoration of its operable state is impossible or impractical.

- *Object age* is the period from the date of commencement of operation to the current moment.

- *Service life* of an object is calendar time equal to the period of operation, counted from the date of commissioning of the object to the date when it reaches the limit state (decommissioning).

- *Useful life* of an object is the total operating time of the object, expressed in hours, kilometres, etc., counted from the date of commissioning of the object to the date when it reaches the limit state (decommissioning).

- *Average service life (average useful life)* is the average value of a random variable of service life (useful life), counted from the date of commissioning of the object to the date when it reaches the limit state (decommissioning).

- *Residual service life* is the calendar duration of operation of an object from the current moment to the moment when it reaches its limit state. It differs from the service life in

that the current moment is taken as the starting point, up to which it has been in operation for some time and has exhausted part of the initial useful life.

- *Residual life* of an object is operating time of the object, expressed in hours, kilometres, etc., from the current moment until it reaches the limit state. It differs from the useful life of the object in that the current moment is taken as the starting point, until which it has been in operation for some time and has exhausted part of the initial resource [1].

RESULTS

1. Assessment of the Electrical and Mechanical Useful Life of the Relay Components

To assess the electrical and mechanical useful life of the relay components used in Soviet and Bulgarian RRCTCSs and based on relays of the first reliability class, the catalogue specifications of both the first-class relays (types NMSH, OMSH, DSSH) and of relays that do not belong to this class (types IMVSh, TSh, PMPSH, etc.) were analysed (Table 1, columns 2 and 3 [5; 6]).

The newer developed Bulgarian RRCTCSs for small stations of EC1 and ECM types along with some types of relays indicated in Table 1 have also used since mid-1980s small-sized relays of the first class of REL type (Table 2 [5]).

The main characteristics of these types of relays, which might refer to the useful life of stations' RRCTCS of relevant types, are electromechanical characteristics, which are associated with the electrical and mechanical wear resistance of these relays. These characteristics are measured by the number of on/off cycles for which the manufacturer guarantee normal operation with high probability. At the same time, as can be seen from columns 3 of the tables, this number is different for different types of load (active, with DC or AC power supply), as well as for different types of contacts (front and back, reinforced and unreinforced contacts).

The frequency of operation of the main part of the relay, mainly of relays of the first class (NMSH, REL, OMSH, DSSH types), depends on intensity of train traffic, measured in pairs of trains per day, while for relays operating in a pulsed mode (IMVSh, TSh), such dependence is practically absent, since with some insignificant exceptions (for example, relays of type IMVSh), they operate in a continuous pulse mode. Therefore, regardless of electromechanical wear

Table 1

No.	Relay type	Electrical and mechanical wear resistance: number of «on/off» cycles		Electrical and mechanical wear, ... years with traffic intensity, pairs of trains				Control check with control equipment with traffic intensity, pairs of trains			
1	2	3	20	40	60	20	60	40	60	8	9
1.	NMSh-2000 [neutral small-size plug-in relay ³]	1,2•10 ⁶ Active load at front contact 2 A/24 V, DC or 0,5 A/230, AC	Active load at back contact 1 A/24 V, DC or 0,3 A/230 V, AC	14600 on/off cycle per year for track relays – 82,19 years with active load	29200 on/off cycle per year for track relays – 41,09 years with active load	43800 on/off cycle per year for track relays – 27,4 years with active load	43800 on/off cycle per year for track relays – 2,28 years	Once per 80 years ²	Once per 40 years	Every 25 years	
2.	IMVSh-110 [pulse small-size plug-in relay with rectifier ³]	20 000 000 (2•10 ⁷) Load 0,5 A/16 V, DC		Continuous mode, 60 pulses/min 536 000 per year 0,634 years				Every 7–8 months			
3.	TSh-2000 [transmitter-type plug-in relay ³]	15 000 000 (1,5•10 ⁷) Load at front contact 300 V A, 110/230 V, AC	Load at back contact 150 V A 110/230 V, AC	Continuous mode, 60 pulses/min 31 536 000 per year 0,476 years				Every 6 months			
4.	DSSh-13A [two-part sector- type plug-in relay ³]	100 000 (1•10 ⁵) Load at front contact 1 A, 110 V, AC	Unreinforced contact 100 000 (10 ⁵) on/off cycle, 1000 (10 ³) «off» cycle	14600 on/off cycle per year for track relays – 6,85 years	29200 on/off cycle per year for track relays – 3,43 years	43800 on/off cycle per year for track relays – 2,28 years	43800 on/off cycle per year for track relays – 2,28 years	Every 7 years	Every 3,5 years	Every 2 years	
5.	PMPSh-150/150 [polarised starting small-size plug-in relay ³]	Reinforced contact 100 000 (10 ⁵) «on» cycle, 1000 (10 ³) «off» cycle Act. load at front contact 4 A, 240 V, DC	Unreinforced contact 100 000 (10 ⁵) on/off cycle Act. load at front contact 2 A, 24 V, DC	7300 on/off cycle per year (1 per 1 pair of trains) for unreinforced contacts 6,85 years	14600 on/off cycle per year (1 per 1 pair of trains) for unreinforced contacts 3,43 years	21900 on/off cycle per year (1 per 1 pair of trains) for unreinforced contacts 2,28 years	21900 on/off cycle per year (1 per 1 pair of trains) for unreinforced contacts 2,28 years	For unreinforced contacts – every 7 years	For unreinforced contacts – every 3,5 years	For unreinforced contacts – every 2 years	
6.	OMSh-40 [flight-out small-size plug-in relay ³]	600 000 6•10 ⁵ Loads at front contact 2 A/24 V, DC or 0,5 A/230 V, AC	Load at back contact 2 A/24 V, DC or 0,5 A/230 V, AC	14600 on/off cycle per year (2 per 1 pair of trains) 41,10 years	29200 on/off cycle per year (2 per 1 pair of trains) 20,55 years	43800 on/off cycle per year (2 per 1 pair of trains) 13,7 years	43800 on/off cycle per year (2 per 1 pair of trains) 13,7 years	Once per 40 years	Every 20 years	Every 14 years	

³ Translator's note.

⁴ Hypothetically.



Table 2

No.	Relay type	Electrical and mechanical wear resistance: number of «on / off» cycles			Electrical and mechanical wear, ... years with traffic intensity, pairs of trains			Control check with control equipment with traffic intensity, train pairs				
1	2	3			20	40	60	20	40	60		
1.	REL1-1600 [electromagnetic DC relay ^{5]}	1,5•10 ⁶			4	5	6	7	8	9		
		Active load at front contact 2 A/24 V, DC or 0,3 A/230 V, AC	Active load at back contact 1 A/24 V, DC or 0,3 A/230 V, AC	Relay load 50 mA/24 V, DC	10 ⁷		Without load		103 years, active load		51 years, active load	34 years, active load
						14600 on/off per year for track relays – 102,74 years active load, 205,48 years, relay load		29200 on/off per year for track relays – 51,37 years active load, 102,64 years, relay load		43800 on/off per year for track relays – 34,25 years active load, 68,48 years, relay load		205 ³ years, relay load.

⁵ Hypothetically.

resistance guaranteed by the manufacturer and that is 10–15 times higher, the wear resistance is exhausted in several months. This does not mean that these relays should be decommissioned, but it is required by the manufacturer (to ensure their further normal operation) to proceed with regular check followed by replacement of some components, first, of contact plates.

The following conclusions can be drawn from the performed analysis of the characteristics of the relays used, referring to the frequency of the recommended checks at control and test points (CTP):

- Regular check of electromechanical wear resistance of relays operating in a pulsed mode (such as IMVSh, TSh) should be performed every 6–8 months. If this is not done, the failure rate of these relays increases during operation, therefore, the number of failures of the corresponding types of RRCTCS also increases.

- Regular testing of electromechanical wear resistance of DSSh and PMPSH relays, depending on intensity of train traffic, should be carried out every 2–7 years. It is wrong to refuse such a check to «optimise» the CTP personnel. If this becomes a practice, then it results in an increase in the likelihood of a dangerous failure of DSSh-type relays and in a decrease in operational reliability of control circuits for some types of switches (due to PMPSH type relay).

- With a low intensity of train traffic, about 20 pairs per day, NMSH and OMSH types relays might be exonerated from control checks for the entire time before decommissioning. With an average train traffic intensity of about 40 pairs per day, these relays should be checked once every 40 years, which is to some extent commensurate with the resource of RRCTCS of the corresponding class, considered in the following sections. With a high intensity of train traffic (about 60 pairs per day), the relay of NMSH type should be subjected to a control check once every 25 years, and the relay of the OMSH type – once every 14–15 years.

Under relay load conditions, relays of REL type do not require periodic checks during the entire period of operation of the corresponding class and types of RRCTCS, since this period at high train traffic (about 60 pairs per day), as it is assumed, will be no more than complete electromechanical wear of the relay (68–70 years). With active load and high intensity of train traffic, it is possible to recommend checking

the relay 34–35 years after RRCTCS was put into operation.

From the performed analysis it becomes clear that the electromechanical wear resistance of the components of station RRCTCS in which relays of the first and not the first class of reliability are used, cannot be considered as the leading criterion for assessing:

- Service life.
- Useful life.
- Average service life (average useful life).
- Residual service life and residual life of this class of relays and of relevant types of station RRCTCSs.

2. Assessment of the Useful and Residual Life of a Class of RRCTCS of a Railway Station

Soviet and Bulgarian developments of RRCTCS of railway stations ensured train traffic safety (along with the accepted principles of circuit synthesis) with the use of a safe component which is a relay of the first reliability class. The main distinctions of this type of relay are the following features:

- Almost complete absence of a probability of welding of front and axial contacts thanks to the use of special design and technological solutions.
- Guaranteed opening (under the influence of the mass of the heavy armature of the magnetic system of the relay) of the electric circuit with a closed front contact when the supply voltage is turned off.

In case of using such components in the schemes for ensuring safety of train traffic (mainly in the circuits of the so-called executive group of RRCTCS), the designer considers the first-class relay as a safe element, the behaviour of which after failure is not questioned, which is why this behaviour is usually not subject to analysis.

In fact, safety of a relay of the first reliability class has its own meter and it is called the «intensity of dangerous failures», measured in 1/h. In [6], based on the collected statistical data, the intensity of dangerous failures has been determined as $\lambda_{\text{dang}} = 1,4 \cdot 10^{-11}$ 1/h. To assess safety of existing relays of the first class, the inequation is accepted:

$$10^{-10} \text{ 1/h} > \lambda_{\text{dang}} > 10^{-12} \text{ 1/h}, \quad (1)$$

moreover, 10^{-10} 1/h is recommended for relays in operation. The adoption of this value (for the purposes of this study) is also justified since the RRCTCSs operated in Bulgaria use relays of the

first class of both Soviet and Bulgarian production (manufactured according to Soviet design documentation and with Bulgarian technology).

To calculate the useful and the residual life of RRCTCSs, whose executive circuits use relays of the first reliability class, two approaches are proposed which are respectively deterministic and probabilistic ones. The most numerous among currently operated Bulgarian RRCTCSs N-68 type RRCTCS with non-routed manoeuvres has been considered as an example. A fragment of an impersonal list of stations with the oldest (51–48 years) and less old (30–25 years) RRCTCSs is shown in Table 3.

The proposed approaches are based on the «hazardous failure rate» characteristics of the first-class relay, the numerical value of which in [7] is determined by the following formula:

$$\lambda_{\text{dang}}(t) = \frac{r(t)}{N \cdot t}, \quad 1/h, \quad (2)$$

where $r(t)$ is the number of dangerous failures during the monitoring period;

N – number of relays;

t – monitoring period.

2.1. Deterministic Approach

With this approach, the age of RRCTCS and the number of first-class relays in operation are considered as determined values.

RRCTCS of type N-68 (including modifications with indices «v» and «u») at a station with 10 switches, 2 derailleurs (derailing blocks), 8 exit (departure), 2 entrance (entry), 2 distant (warner) and 1 repeating (repeater) signals operates exactly 380 first-class relays. According to expert analysis, for stations of this type with the smallest number of specified objects, the total number of first-class relays is estimated at about 300, and for stations with the largest number of such objects it is estimated at about 460. In this regard, it can be assumed that RRCTCSs in operation are characterised by the deterministic parameters described in Table 4.

Based on (2) and the designations from Table 4, it can be written that the predicted number of dangerous failures that may occur under the considered conditions is:

$$O_{\text{dang}} = \lambda_{\text{dang}} \cdot I \cdot N \cdot J \cdot 365 \cdot 24, \quad (3)$$

or:

$$O_{\text{dang}} = 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 40,71 \cdot 365 \cdot 24.$$

From the calculations it follows that by the beginning of 2021 $O_{\text{dang}} = 0,78599$, i.e., the total elapsed operating time of the relay can be considered insufficient for occurrence of the first



Table 3

No.	RRCTCS type	Year of commissioning	Age by the beginning of 2021, years	No.	RRCTCS type	Year of commissioning	Age by the beginning of 2021, years
1.	N68	1969	51	...	...	...	...
2.	N68	1971	49	52.	N68u	1990	30
3.	N68	1972	48	53.	N68u	1990	30
4.	N68	1972	48	54.	N68v	1991	29
5.	N68	1972	48	55.	N68u	1991	29
6.	N68	1972	48	56.	N68u	1993	27
7.	RRCTCS-N68	1972	48	57.	RRCTCS-N68	1994	26
8.	RRCTCS-NH68	1972	48	58.	RRCTCS-N68u	1995	25

Table 4

Total number of RRCTCSs, I	Age, years		Number of the first-class relays in operation*, pcs		Recommended calculated intensity of dangerous failures λ_{dang}^* 1/h
58	Range	Average age for all RRCTCSs (J)	Range	Average (N)	$1 \cdot 10^{-10}$
	25–51	40,71	300–460	380	

* For the purposes of the study, it is assumed that, during operation of the corresponding local RRCTCS, the mounted relays of the first class, although they were subjected to periodic checks, were not replaced for new ones, and were not subjected to repair (replacement of parts). This circumstance is indeed characteristic of their real operation.

dangerous failure. If O_{dang} is considered as the probability Q_{dang} of occurrence of at least one dangerous failure of the first-class relays in operation, then the difference $1 - Q_{\text{dang}} = 0,21401$ can be taken as the probability of their safe operation P_s .

The author's thesis is that P_s is considered as a certain margin until the first dangerous failure of any relays of the first class in operation is reached, and this can be used as a basis for calculating the average residual life of these relays. From the point of view of ensuring safety of train traffic, the calculated average residual life of the relays can be taken as the average residual life of RRCTCSs. Based on that, we can write that:

$$0,2140 = 11 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot T_{\text{res}} \cdot 365 \cdot 24,$$

hence:

$$T_{\text{res}} = 0,21401 / 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 365 \cdot 24 = 11,0845 \text{ years.}$$

Therefore, it can be assumed that the average residual life of the first-class relays in operation until at least one dangerous failure is equal to about 11 years⁵. Hence, the average residual resource of RRCTCSs of N-68 type in operation, referring directly to safety of train traffic, could be estimated at 11 years as by the early 2021.

⁵ According to earlier estimations made by the author in 2017, when 61 RRCTCSs of this type were in operation, the average residual life of the relays was 11,6 years.

Let us assume that during next 11 years a «nothing is done» strategy is applied to these RRCTCSs. This will mean that in 11 years the age of object No. 1 (Table 3) will reach 62 years. Then the probability Q_{dang} of a dangerous failure of the first-class relays for all RRCTCSs of this type in operation will be practically equal to 1 (0,9984). Therefore, to avoid a situation that can cause an accident with serious consequences, the strategy of «RRCTCS useful life/age management» is proposed.

For the purposes of the subsequent analysis, let us consider two variants of the limiting age of RRCTCS of this type: a) 60 years (Table 5) and b) 55 years (Table 6). Here, these options will have the meaning of «assigned», i.e., hypothetical useful life. This means that in 9 years, and, respectively, in 4 years, the «oldest» RRCTCS at station No. 1 (Table 3) should be decommissioned.

Column 3 of Tables 5 and 6 indicates Q_{dang} and P_s for all RRCTCSs of type N-68 at the following steps of the strategy development:

1. RRCTCS at station No. 1 has been in operation for 60 or 55 years, respectively (row 1 of Tables 5 and 6).

2. RRCTCS at station No. 2 has been in operation for 60 or 55 years, respectively (row 3 of Tables 5 and 6).

Table 5

No.	Steps of the strategy development	Q_{dang}	P_s
1	2	3	4
1.	RRCTCS at station No. 1 is in operation for 60 years	0,9598	0,0402
2.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCS at station No. 1	0,9397	0,0603
3.	RRCTCS at station No. 2 is in operation for 60 years	0,9777	0,0223
4.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCS at station No. 2	0,9577	0,0423
5.	RRCTCSs at stations No. 3–9 are in operation for 60 years	0,9764	0,0236
6.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCSs at stations No. 3–9	0,8366	0,1634

3. RRCTCSs at stations No. 3–9⁶ have been in operation for 60 or 55 years, respectively (row 5 of Tables 5 and 6).

4. The values of Q_{dang} and P_s at the moment immediately after decommissioning of RRCTCSs of the corresponding stations are indicated in rows 2, 4, 6 of Tables 5 and 6.

It can be seen that if we take the «assigned» average useful life of RRCTCSs equal to 60 years (Table 5), then before decommissioning RRCTCSs at stations 1–9, the probability of a dangerous failure remains close to 1. If this useful life is taken equal to 55 years, then before decommissioning of RRCTCSs at stations 1–9 there is a certain margin in probability P_s situated in the range of 0,12–0,14 (rounded off).

Hence, we can conclude that if we assume the average service life of 60 years as the average useful life of a RRCTCS of N-68 type, then it will be somewhat risky, while assuming the term of 55 years will be a rather pessimistic decision. Apparently, the average value should be considered more reasonable, i.e., 57–58 years. This will allow to consider the following additional factors for each specific RRCTCS:

- The state of the external cabling and of the internal wiring and conductors. In this case, it is necessary to assess the current changes in the

characteristics of the cables. It should be borne in mind here that RRCTCSs with a longer service life are more vulnerable in terms of quality of cables and conductors used in the past. This aspect, from the point of view of occurrence of a dangerous failure, regardless of the likelihood of such a failure of a first-class relay, should not be neglected at all, therefore, it requires a separate consideration.

- Quality of maintenance, which affects the general technical state of a particular RRCTCS. Practices and observation show that RRCTCSs of one and the same age can either look completely worn or keep an acceptable technical state.

- The operating costs associated with keeping the characteristics of RRCTCSs within the range of predefined parameters can also be subject to assessment from the point of view of their economic viability.

In doing so, one should expect that the probability of a dangerous failure of the first-class relay in RRCTCSs of the indicated type will not reach $Q_{\text{dang}} = 1$.

To implement the strategy of «RRCTCS useful life/age management», it is necessary to develop a program for re-equipment of stations with RRCTCSs of N-68 type guided by a clear idea that this is a necessary condition for managing safety of train traffic.

⁶ Station No. 9 is not indicated in Table 3.

Table 6

No.	Steps of the strategy development	Q_{dang}	P_s
1	2	3	4
1.	RRCTCS at station No. 1 is in operation for 55 years	0,8632	0,1368
2.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCS at station No. 1	0,8483	0,1517
3.	RRCTCS at station No. 2 is in operation for 55 years	0,8828	0,1172
4.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCS at station No. 2	0,8646	0,1454
5.	RRCTCSs at stations No. 3–9 are in operation for 55 years	0,8832	0,1168
6.	At the time immediately after decommissioning of RRCTCSs at stations No. 3–9	0,7550	0,2450



Table 7

Number of RRCTCSs, I	Estimated average useful life J, years
10	300,408
20	150,205
30	100,136
40	75,102
50	60,082
60	50,068
70	42,915
80	37,551
90	33,378
100	30,041

Additional comment 1

From the above, one might get the impression that if $O_{\text{dang}} = 1$ is substituted in (3), and since λ_{dang} , I and N are known, as in the case under consideration, then the average useful life for all RRCTCSs based on occurrence of the first dangerous failure can be determined as:

$$J = 1/\lambda_{\text{dang}} \cdot I \cdot N \cdot 365 \cdot 24, \text{ years.} \quad (4)$$

It turns out that this is not entirely true.

Table 7 and Pic. 1 give the dependence of the average useful life of RRCTCSs of N-68 type on the number of RRCTCSs in operation. It can be seen that if the number $I \leq 60$, then the calculated average useful life increases

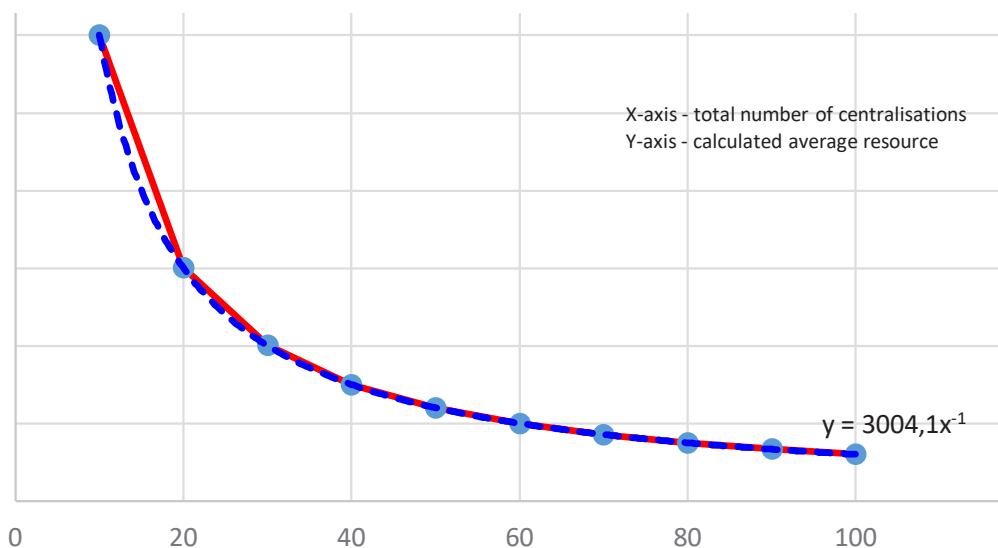
sharply. This is reasonable, because in such cases the total number of relays is not enough for the first dangerous failure to occur with a probability equal to 1. Then the key factor for determining the useful life of RRCTCS will be associated not with the probability of the first dangerous failure, but with the electrical and mechanical wear resistance/actual wear of the relays (see section 1, Tables 1 and 2), as well as with the condition of the cable network and operating costs required to maintain each individual RRCTCS within the range of assigned parameters.

If the number of RRCTCSs $I > 60$, the average useful life of RRCTCSs decreases. However, here it should be borne in mind that with such a number of RRCTCSs and due to their non-simultaneous construction, there will be RRCTCS both with an age much less and with an age greater than the calculated average useful life⁷. In these cases, the criterion «determination of the average residual life based on 100 % probability of the first dangerous failure» will prevail.

2.2. Probabilistic approach

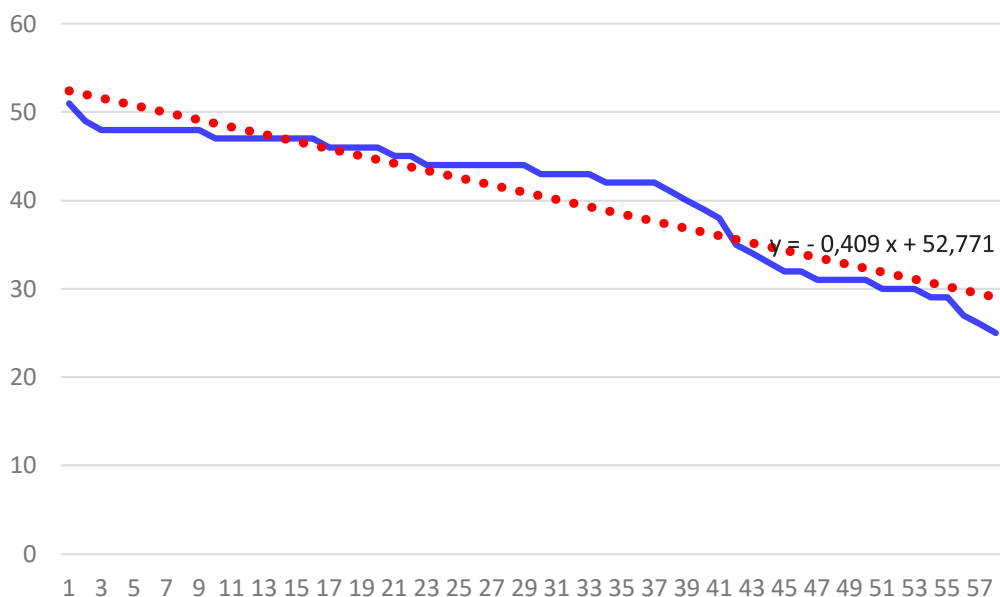
To implement this approach, simulation was performed using the Monte Carlo method, for which:

⁷ For comparison, see Table 3, where the average age of RRCTCSs is 40,71 years, while the age of the «oldest» TCS is 51, and the «youngest» TCS is 26 years old.



Pic. 1. Average useful life of RRCTCS of N-68 type before occurrence of the first dangerous failure.

Note: Red curve is an average estimated useful life depending on the total number of RRCTCSs; blue dotted curve is a trend line ($y = 3004,1x^{-1}$).



Pic. 2. Age of RRCTCSs of N-68 type.
 Note: x-axis – number of RRCTCSs, y-axis – age.

- The number of the corresponding RRCTCS is considered and modelled as a random number in the range of 1–58 using a uniform distribution.

- The age is considered as a random number, which is determined based on a random number of a RRCTCS with the linearised function $y = f(x)$ of the real age of RRCTCSs (Pic. 2), which is the trend line $y = -0,409x + 52,771$.

- The number of relays is considered and modelled as a random number in the range of 300–460 pcs. with a uniform distribution.

Modelling was performed for 20 series with 5800 scenarios for each series with the following final results: $Q_{dang} = 0,78986$, $P_s = 0,21014$, average age = 40,897 years.

It is evident that the values of Q_{dang} , P_s and average age obtained using probabilistic modelling practically do not differ from the calculations performed with determined values from section 2.1, which proves a high convergence of the results obtained based on both approaches (deterministic and probabilistic).

Additional comment 2

The proposed concept of safety management of rail stations' relay-based centralised traffic

control systems which use relays of the first class, can be applied to other types of RRCTCSs of the same class. In this regard, for RRCTCS of MN70 type with routed manoeuvres, which were put into operation mainly after 1975 and the number of which is much less than of other types, this average useful life (no more than 60 years) can also be assumed as reasonable since the number of relays of the first class in them is at least 2 times more than of those used in RRCTCSs of N-68 type. Besides, the stations equipped with this type of RRCTCS have more controlled objects (switches and signals), and movement of trains and shunting operations are more intense. This allows us to discuss the following actions related to operation of RRCTCSs of the indicated types:

1. Replacement of track circuits with axle counters in RRCTCSs of N-68 type, which are currently more than 47–48 years old. This can be considered appropriate only if there is a problem with the supply of spare elements/blocks necessary to ensure the required operational availability of the track circuit equipment.

2. Dismantling of RRCTCSs of MN70 type on the modernised sections of the railway network, whose age at the time of decommissioning is within the range of 32–35 years. From the point



of view of the above, these RRCTCSs can be «redirected» to stations equipped with RRCTCS of N-68 type, whose useful life/reasonable age has expired despite the fact that RRCTCS of MN70 type would have to a certain extent a hardware redundancy in relation to really necessary performance characteristics. For the purpose of a certain modernisation, it is possible to use for these RRCTCSs the so-called «computer visualisation» instead of the control panel.

CONCLUSIONS

1. This study is an attempt to evaluate, to some extent empirically, the useful life and residual life of a class of rail stations' relay-based centralised traffic control systems using the relays of so-called «first class of reliability».

2. The analysis shows that the residual life and attainment of the limiting state of this class and types of centralised traffic control systems cannot be determined based exclusively on electrical and mechanical wear resistance/wear of relays of the first and non-first reliability classes used in them.

3. From the point of view of realisation of a probability of the first dangerous failure of a relay of the first reliability class, the number of relays in operation and their age is of decisive importance.

4. The average useful life of RRCTCS of N-68 type can be assumed to be equal to 57–58, but not more than 60 years, and their average residual life by the beginning of 2021 to be equal to not more than 9 years. However, these values should not be considered absolute, i. e., they should be understood as predicted values of the expected time, after which the corresponding RRCTCS will reach the limit state and will be decommissioned. This is due to the need to consider the additional factors mentioned in the study. In this regard, the calculated average useful life and the average residual life of RRCTCSs of this type represent the best guideline for their expected age limit.

5. Closure of individual low-density stations (following reasonable optimisation of

the transportation process technology) or decommissioning of the stations with RRCTCSs using relays of the first reliability class, especially those with already long service life, can be considered as factors leading to better stability of the probability of occurrence of the first dangerous failure.

REFERENCES

1. Leifer, L. A., Kashnikova, P. M. Determining residual service life of machines and equipment based on probabilistic models [*Opredelenie ostatochnogo sroka sluzhby mashin i oborudovaniya na osnove veroyatnostnykh modelei*]. CJSC Privolzhsky Centre for Financial Consulting and Appraisal, 2007. [Electronic resource]: http://www.labrate.ru/leifer/leifer_kashnikova_article_2007-1_residual_service_life.htm. Last accessed 24.04.2021.
2. Sadykhov, G. S., Savchenko, V. P., Sidnyaev, N. I. Models and methods for assessing the residual life of radio electronics products: Monograph [*Modeli i metody otsenki ostatochnogo resursa izdelii radioelektroniki: Monografiya*]. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2015, 384 p. ISBN 978-5-7038-4006-1. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29814108>. Last accessed 29.04.2021.
3. Andreev, D. A., Nazarychev, I. A. Analysis of methods for assessing commutation life of high-voltage circuit breakers [*Analiz metodov otsenki kommutatsionnogo resursa vysokovoltnykh vyklyuchatelei*]. ISEU Vestnik, 2008, Iss. 2, pp. 69–84. [Electronic resource]: http://ispu.ru/files/str_69-84.pdf. Last accessed 24.04.2021.
4. Bolotsky, D. N. Methods for assessing the reliability and risks of the production process of operating infrastructure facilities of railway transport. Ph.D. (Eng) thesis [*Metody otsenki nadezhnosti i riskov proizvodstvennogo protsessa ekspluatatsii ob'ektov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta. Dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2020, 181 p. [Electronic resource]: https://www.miit.ru/content/%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_10092020_%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%94.%D0%9D..pdf?id_wm=856542. Last accessed 24.04.2021.
5. Soroko, V. I. Relay in railway automatics and telemechanics [*Rele zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki*]. Moscow, Planeta NPF, 2002, 696 p. ISBN 5-901307-04-6.
6. Shmyrev, A. S. Handbook of railway automation and telemechanics [*Spravochnik po zheleznodorozhnoi avtomatike i telemekhanike*]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1970, 384 p.
7. Certification and Proof of Safety of Railway Automation Systems [*Sertifikatsiya i dokazatel'stvo bezopasnosti sistem zheleznodorozhnoi avtomatiki*]. Ed. by D.Sc. (Eng) V.I. V. Sapozhnikov. Moscow, Transport publ., 1997, 288 p. [Electronic resource]: <https://pt.b-ok.com/book/2960213/9ec31b>. Last accessed 29.04.2021. ●

Information about the author:

Dimitrov, Rumen, Ph.D. (Eng), Senior Researcher, Expert of TINSA Ltd., Sofia, Bulgaria, rudimitrov@mail.bg.

Article received 12.03.2021, approved 15.06.2021, updated 28.09.2021, accepted 30.09.2021.



Methods of Analysis and Synthesis of Switching Circuits of Photonic Switches Using the Example of Spanke Architecture



Nikolay A. KAZANSKY



Polina I. LYSYUK

*Nikolai A. Kazansky¹,
Polina I. Lysyuk²*

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² College of Communications No. 54 named after
P. M. Vostrukhin, Moscow, Russia.

✉ ¹ nkazan@inbox.ru.

ABSTRACT

The development of high-speed rail requires introduction of new telecommunications technology implemented in an integrated digital technological communication system (IDTC). Features of building such systems comprise provision of switching optical data channels using photonic switches (PS). Switching processes in PS occur at the photon (optical) level. A feature of construction of PS is the use of multi-tier topologies, performed using binary switches (BSs). BS is the simplest switching element with the number of input/output ports equal to one or two. The concepts for constructing PS are based on the technology of the well-known switching circuits using BS whose architecture and topology are assigned the names of their creators (Benes, Spanke, Spanke–Benes architecture, Clos network, etc).

With an increase in PS capacity, its structure becomes more complicated: the number of links in the switching circuit, the total number of BSs, the length of switching routes, and the redundancy factor increase. In addition, it becomes necessary to calculate the

probabilities of the occurrence of internal blocking in switching circuits, speed of switching optical signals, the value of attenuation of the optical signal in PS circuit, etc.

The objective of the study was to develop methods of analysis and synthesis of switching circuits of photonic switches using the example of a circuit of Spanke architecture of a given capacity with calculation of the probabilities of occurrence of internal blocking. The authors used general scientific and engineering methods of mathematical modelling, probability and queuing theory and an example of an algorithm for analysing the structures of Spanke topology with capacities from 4×4 to 128×128. Their topological and probabilistic characteristics (the number of links in the switching circuit, the total number of BS, the length of the switching routes, the probability of occurrence of internal blocking in PS circuits) have been determined. The results of calculations are presented in the form of tables. The developed methods of analysis and synthesis can be used in the study of similar switching circuits built using BS.

Keywords: photon switching, binary switch, Spanke architecture, structural characteristics, probability of internal blocking, high-speed transport.

For citation: Kazansky, N. A., Lysyuk, P. I. Methods of Analysis and Synthesis of Switching Circuits of Photonic Switches Using the Example of Spanke Architecture. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 145–150. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-2>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

The development of high-speed railway transport requires introduction of new telecommunications technology implemented in an integrated digital technological communication system (IDTC). One of the features of construction of such systems is provision of switching optical data transmission channels using photonic switches (PSs). Numerous research works have been dedicated to various aspects of the topic for many years [1–8].

PSs are one of the main elements of such systems and allow configuring their topology. Signal switching processes in PS occur at the photon (optical) level. The peculiarities of construction of PS with the number of inputs/outputs from 4×4 and more are associated with the use of multi-tier topologies performed using binary switches (BSs). BS is the simplest switching element with the number of inputs/outputs 2×2 , 2×1 or 1×2 .

In [9; 10], it was proposed to build PS schemes according to the architecture of classical networks which were assigned, as a rule, the names of their creators:

- Spanke network [R. A. Spanke].
- Matrix scheme.
- Delta scheme.
- Banyan network.
- Batcher–Banyan network [K. E. Batcher].
- Benes network [V. E. Beneš].
- Spanke–Benes network.
- Clos network [Ch. Clos].

With an increase in PS capacity, its structure becomes more complex: the number of links in the switching circuit, the total number of BSs, the length of the switching routes, and the redundancy factor [11] increase. In addition, it becomes necessary to calculate the probabilities of occurrence of internal blocking in switching circuits, the speed of switching optical signals, the values of attenuation of the optical signal in PS circuit, etc. Works [9–12] present the principles of PS operation, their technical characteristics, and features of constructing their

architecture. However, the authors have not considered the issues of analysis and synthesis of structural schemes of PS, presented methods for calculating their structural and probabilistic characteristics.

The *objective* of the research was to develop methods of analysis and synthesis of PS switching circuits using the example of Spanke networks with a capacity of $M = 2^N$, and methods for calculating their structural and probabilistic characteristics.

Research *methods* included general scientific and engineering methods of mathematical modelling, probability theory and queuing theory.

RESULTS

It is proposed to consider the structures of multi-link PS with the number of inputs/outputs $M \times M$, which are formed according to the modular principle. Namely, the switching circuit with a capacity of $M \times M$ is formed based on switching circuits with the number of inputs/outputs equal to $M/2 \times M/2$.

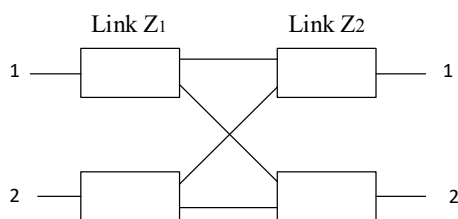
In accordance with the proposed modular principle for construction of Spanke switching networks, it is necessary to consider the features of the structure of circuits with a minimum capacity of 2×2 , followed by an increase in this capacity according to the law $M = 2^N$. Pic. 1 shows Spanke network with a minimum capacity of 2×2 [13].

Any Spanke switching scheme of capacity $M = 2^N$, where $N = 2, 3, 4 \dots$ can be interpreted as a three-link network. In this case, BSs of the first and third links are input and output BSs of 1×2 and 2×1 types, and BSs of the second link are blocks with a capacity of $M/4$.

For analysis and synthesis of structural diagrams of PS with a capacity of M , we introduce few definitions.

BS link is a set of BSs that belong to one switching stage. The links in Spanke network are subdivided into terminal and intermediate ones. There are no intermediate links in Spanke switching scheme with a capacity of 2×2 (Pic. 1). Terminal links are built on 1×2 and 2×1 BSs, the intermediate link consists of four blocks with a capacity of $M/2$.

BS block is a switching circuit with a capacity of $M/2$, based on which switching circuits with a capacity of M are built. At the same time, in Spanke schemes, the number of blocks is equal to four, regardless of the capacity of the scheme.



Pic. 1. 2×2 Spanke network [13].

Blocks are placed between the first and last links of the switch.

The first and third links of the switching circuit are subdivided into BS groups. Each group consists of $M/2$ core switches. The BS groups are assigned double numbering. The first digit indicates belonging to the link number (1 or 3), the second digit marks the sequence number of the group in the link (1 or 2). The total number of groups in Spanke schemes is always four.

Let us introduce the following designations for the structural characteristics of Spanke switch circuit:

M – number of inputs/outputs in the switch circuit ($M = 2^N$).

Z_k – number of the link in the switch circuit, $k = 1, 2, 3$.

B_k – number of BSs in the Z_k link of the switch circuit – for $k = 1, 3$, $B_k = M$; for $k = 2$, $B_k = 2 \cdot M \cdot (M - 2)$.

B – total number of BSs in the switch circuit.

G_{ij} – number of the group in the switch circuit, where $i = 1, 3$; $j = 1, 2$.

D_m – number of the block in the Z_2 link of the switch circuit, $m = 1, 2, 3, 4$.

As an example, let us analyse the structural characteristics of 4×4 Spanke network shown in Pic. 2.

The Z_1 link is embodied with 1×2 type BS, the Z_2 link is embodied with 2×2 type BS. The number of BSs in the links corresponds to the number of inputs (outputs) of the switch. Link Z_2 contains four blocks with a capacity of 2×2 . Lines of distinct types (solid and dotted) show the circuits connecting four blocks with a capacity of 2×2 to BS of links Z_1 and Z_3 . Link Z_1 consists of groups G_{11} and G_{12} , link Z_3 consists of groups G_{31} and G_{32} .

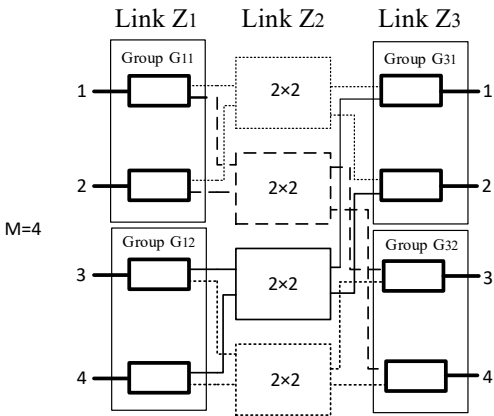
The authors of the article propose the following generalised algorithm for analysis and synthesis of Spanke switching schemes with a capacity of $M = 2^N$:

1. Initially determined are:

- Total number of BSs in the scheme according to the formula: $B = 2 \cdot M \cdot (M - 1)$ [10].
- Number of BSs in the first link B_1 and the last link B_3 in the switch circuit: $B_1 = B_3 = M$.
- Total number of BSs in the intermediate link Z_2 , calculated by the formula: $B_2 = 2 \cdot M \cdot (M - 2)$.

2. The D_m blocks of the Z_2 link are numbered from 1 to 4.

3. BS G_{ij} groups in the first (G_{11} and G_{12}) and in the third (G_{31} and G_{32}) links are numbered.



Pic.2. Spanke network (compiled by the authors).

4. The scheme of connecting the outputs of BS of the link Z_1 to the inputs of the blocks of the link Z_2 is as follows. The outputs of the first BS in the G_{11} group are connected to the first inputs of the D_1 and D_2 blocks. The outputs of the second BS of the G_{11} group are connected to the second inputs of the D_1 and D_2 blocks. The outputs of the first BS of the G_{12} group are connected to the first inputs of the D_3 and D_4 blocks. The outputs of the second BS of the G_{12} group are connected to the second inputs of the D_3 and D_4 blocks.

5. The scheme of connecting of the BS of the link Z_3 to the outputs of the blocks of the link Z_2 is as follows. The inputs of the first BS of the G_{31} group are connected to the first outputs of the D_1 and D_3 blocks. The inputs of the second BS of the G_{31} group are connected to the second outputs of the D_1 and D_3 blocks. The inputs of the first BS of the G_{32} group are connected to the first outputs of the D_2 and D_4 blocks. The inputs of the second BS of the G_{32} group are connected to the second outputs of the D_2 and D_4 blocks.

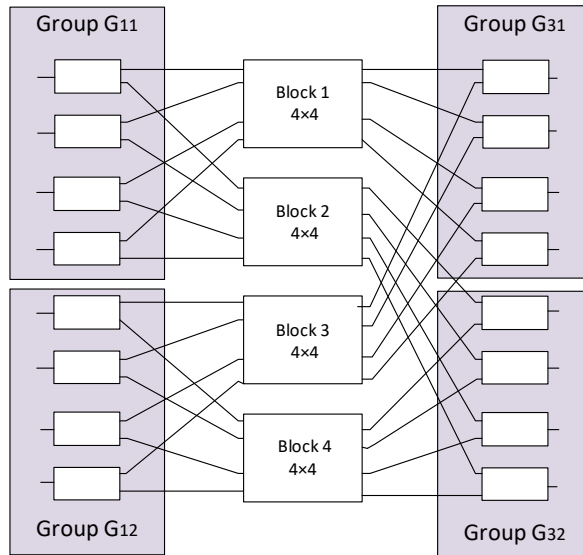
The algorithm developed above for analysis and synthesis of Spanke switching schemes allows to show in Pic. 3 a diagram of a switch with a capacity of 8×8 .

The authors propose the following method for calculating the probabilities of occurrence of internal blocking in Spanke switching schemes.

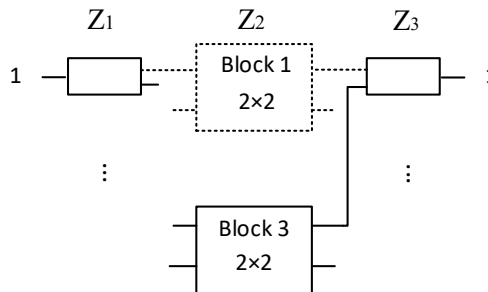
Let's consider an example of traffic transmission through 2×2 Spanke switching scheme (Pic. 1) from the first input to the first output.

Let us introduce the following additional designations:

- q_{SM} – probability of occurrence of internal blocking in Spanke scheme with a capacity of M .



Pic. 3. An example of a synthesized 8x8 Spanke scheme (compiled by the authors).



Pic. 4. Fragment of 4x4 Spanke structure (compiled by the authors).

- ρ – average intensity of the incoming specific load at each of PS's inputs, E [Erlang].
- α – coefficient of gravitation of the incoming load within PS scheme.

Let's consider the procedure for servicing the load in the circuit of this switch. Internal blocking will occur when the observed serviced load and the competing load from the second PS input arrive at the inputs, for example, of the first BS of the link Z_1 . In this case, the probability of blocking the connection between the first input and the first output is determined by the formula:

$$q_{s2} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) = \alpha \cdot \rho. \quad (1)$$

In an analogous way, let us determine the probability of occurrence of internal blocking for Spanke $4 \times 4 q_{s4}$ structure, representing each block in the link Z_2 by Spanke 2×2 scheme (Pic. 2).

Let us transform the scheme in Pic. 2 to the simplified one shown in Pic. 4. In the general scheme, we highlight the ways of establishing a

connection between the first input and the first output.

At the output 1 of the link Z_3 , the probability of blocking the transmitted traffic will depend on the amount of load coming from the output of the third 2×2 block.

Based on the foregoing, let us express the probability of occurrence of internal blocking in $4 \times 4 q_{s4}$ Spanke network through the probabilities of occurrence of internal blocking q_{s2} :

$$q_{s4} = 1 - (1 - q_{s2}) \cdot (\alpha \cdot \rho)^3 \cdot (1 - \alpha)^2. \quad (2)$$

In the classical Spanke networks [14–16], the serviced load is concentrated in 2×1 BS of the link Z_3 . This leads to significantly high probability of traffic blocking.

As an example, for $\rho = 0,001 E$, $\alpha = 0,5$, the probability of blocking in 4×4 Spanke structure will be $q_{s4} = 0,999$.

The authors propose to modernise the classic Spanke structure by replacing 2×1 BS with 2×2 BS in the link Z_3 . The diagram is shown in Pic. 5.

Table 1

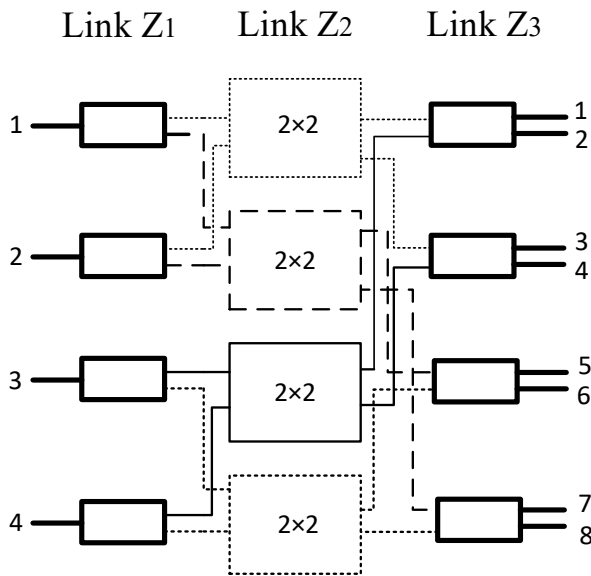
The probabilities of occurrence of internal blocking in the modernised Spanke networks of various capacity with the intensity of the incoming load $\rho = 0,001$ E

α	q_{S2}	q_{S4}	q_{S8}	q_{S16}	q_{S32}	q_{S64}	q_{S128}
0,1	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,199 \cdot 10^{-3}$	$0,299 \cdot 10^{-3}$	$0,399 \cdot 10^{-3}$	$0,499 \cdot 10^{-3}$	$0,599 \cdot 10^{-3}$	$0,699 \cdot 10^{-3}$
0,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,999 \cdot 10^{-3}$	$1,499 \cdot 10^{-3}$	$1,998 \cdot 10^{-3}$	$2,497 \cdot 10^{-3}$	$2,996 \cdot 10^{-3}$	$3,494 \cdot 10^{-3}$
0,9	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,799 \cdot 10^{-3}$	$2,697 \cdot 10^{-3}$	$3,595 \cdot 10^{-3}$	$4,491 \cdot 10^{-3}$	$5,387 \cdot 10^{-3}$	$6,283 \cdot 10^{-3}$

Table 2

The probabilities of occurrence of internal blocking in the modernised Spanke networks of various capacity with the intensity of the incoming load $\rho = 0,01$ E

α	q_{S2}	q_{S4}	q_{S8}	q_{S16}	q_{S32}	q_{S64}	q_{S128}
0,1	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,999 \cdot 10^{-3}$	$2,997 \cdot 10^{-3}$	$3,994 \cdot 10^{-3}$	$4,990 \cdot 10^{-3}$	$5,985 \cdot 10^{-3}$	$6,979 \cdot 10^{-3}$
0,5	$5 \cdot 10^{-3}$	$9,975 \cdot 10^{-3}$	$14,925 \cdot 10^{-3}$	$19,850 \cdot 10^{-3}$	$24,751 \cdot 10^{-3}$	$29,627 \cdot 10^{-3}$	$34,479 \cdot 10^{-3}$
0,9	$9 \cdot 10^{-3}$	$17,919 \cdot 10^{-3}$	$26,757 \cdot 10^{-3}$	$35,516 \cdot 10^{-3}$	$44,197 \cdot 10^{-3}$	$52,799 \cdot 10^{-3}$	$61,324 \cdot 10^{-3}$



Pic. 5. Modernised 4x4 Spanke structure (compiled by the authors).

In this case, the probability of internal blocking in the modernised 4x4 Spanke network will be:

$$q_{S4} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) \cdot (1 - q_{S2}). \quad (3)$$

For an arbitrary value of the capacity M , the formula for calculating the probability of occurrence of internal blocking will take the form:

$$q_{SM} = 1 - (1 - \alpha \cdot \rho) \cdot (1 - q_{\frac{SM}{2}}). \quad (4)$$

The results of calculating a probability of occurrence of internal blocking in Spanke structures with 2x2 BS in the link Z_j are presented in Table 1 and Table 2.

CONCLUSIONS

The replacing of 2x1 output BS with 2x2 BS in Spanke structures proposed by the authors allows reducing probability of internal blocking by an average of three orders of magnitude, which will ensure high throughput and a possibility of using IDTC with photon switching in optical networks.

The developed method makes it possible to analyse and synthesise PS circuits using the example of a Spanke structure of any capacity and to identify a probability of internal blocking. A block approach to circuit synthesis is proposed, based on the results of analysis and synthesis of Spanke networks of smaller capacity.



The values of specific loads ρ and the coefficients of gravitation of the loads α affect the values of probability of occurrence of internal blocking, first, with an increase in PS capacity.

The probability of blocking in a PS of $M/2$ small capacity increases by about three times in circuits with M capacity.

With an increase in the coefficient of gravitation of the load, the probability of blocking can increase to up by nine times, regardless of the capacity of PS.

Further research is supposed to consider the results of mathematical modelling for the rest of the classical PS networks.

REFERENCES

1. Agrawal, G. P. Nonlinear Fiber Optics. 3rd ed. Eds.: Kelley, P. L., Kaminow, I. P., Agrawal, G. P. Boston, Academic Press, 2000, 468 p. [Electronic resource]: http://read.pudn.com/downloads143/ebook/620953/Nonlinear_Fiber_Optics_3E.pdf. Last accessed 09.01.2021. DOI: 10.1007/3-540-46629-0_9.
2. Liu, Ai-qun; Zhang, Xuming; Lu, Cheng; Wang, F.; Liu, Zishun. Optical and mechanical models for a variable optical attenuator using a micromirror drawbridge. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2003, Vol. 13 (3), pp. 400–411. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/228697763_Optical_and_mechanical_models_for_a_variable_optical_attenuator_using_a_micromirror_drawbridge. Last accessed 09.01.2021.
3. Säcker, E. Broadband Circuits for Optical Fiber Communication. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 453 p. [Electronic resource]: <https://b-ok.global/book/490967/864d86>. Last accessed 09.01.2021.
4. Grade, J. D., Jerman, H., Kenny, T. W. Design of Large Deflection Electrostatic Actuators. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2003, Vol. 12, Iss. 3, pp. 335–343. DOI: 10.1109/JMEMS.2003.811750.
5. Bryzek, J., Abbott, E., Flannery, A., Cagle, D., Maitan, J. Control Issues for MEMS. 42nd IEEE International Conference on Decision and Control (IEEE Cat. No. 03CH37475), Maui, Hawaii, Dec 2003. DOI: 10.1109/CDC.2003.1273090.
6. Hiroyuki, Fujita; Hiroshi, Toshiyoshi. Electrostatic Micro Torsion Mirrors for an Optical Switch Matrix. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1996, Vol. 5, Iss. 4, pp. 231–237. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Hiroyuki_Fujita/publication/3329122_Electrostatic_micro_torsion_mirrors_for_an_optical_switch_matrix/links/0deec52b39513cd648000000/Electrostatic-micro-torsion-mirrors-for-an-optical-switch-matrix.pdf. Last accessed 09.01.2021.
7. Kurzweg, T. P., Morris III, A. S. Macro-Modeling of Systems Including Free-Space Optical MEMS. 2000 International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems – MSM 2000, Tech. Proc. San Diego, California, USA, March 27–29, pp. 146–149. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/2635436_Macro-Modeling_of_Systems_Including_Free-Space_Optical_MEMS. Last accessed 09.01.2021.
8. Agrawal, G. Nonlinear Fibre Optics. [Russian ed., trans. from English]. Moscow, Mir publ., 1996, 323 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/agraval-gp-nelineynaya-volokonnaya-optika_56ae28bf45d.html. Last accessed 09.01.2021.
9. Ubaydullaev, R. R. Fiber-optic networks [*Volokonno-opticheskie seti*]. Moscow, Eco-Trends publ., 2001, 267 p. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/26025483-R-ubaydullaev-volokonno-opticheskie-seti.html>. Last accessed 09.01.2021.
10. Fokin, V. G. Coherent optical networks: Study guide [*Kogerentnie opticheskie seti: Ucheb. posobie*]. Siberian State University of Telecommunications and Informatics; Department of multichannel telecommunications and optical systems. Novosibirsk, 2015, 372 p. [Electronic resource]: <https://docplayer.ru/61495673-Kogerentnye-opticheskie-seti.html>. Last accessed 09.01.2021.
11. Dmitriev, S. A., Slepov, N. N. Fiber-optic technology: current state and prospects [*Volokonno-opticheskaya tekhnika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy*]. 2nd ed. Moscow, LLC Fiber-optic technology, 2005, 576 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/dmitriev-s-a-slepov-n-n-volokonno-opticheskaya-tehnika-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy_c0ecd82d2ee.html. Last accessed 09.01.2021.
12. Sklyarov, O. K. Fiber-optic networks and communication systems: Study guide [*Volokonno-opticheskie seti i sistemy svyazi: Uchebnoe posobie*]. 2nd ed., ster. St. Petersburg, Publishing house «Lan», 2010, 272 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/sklyarov-ok-volokonno-opticheskie-seti-i-sistemy-svyazi-uchebnoe-posobie_45ecba93b72.html. Last accessed 09.01.2021.
13. Rudenko, D. V. Structural constraints of optical multiplexer. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol.10, Iss. 4, pp. 125–129. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/714/1063>. Last accessed 09.01.2021.
14. Barabanova, E. A. Optical two-stage switching system for processing substantial amounts of data [*Opticheskaya dvukhkaskadnaya kommutatsionnaya sistema dlya obrabotki bolshikh ob'emov dannykh*]. *Scientific Bulletin of NSTU*, 2018, Iss. 1 (70), pp. 7–18. DOI: 10.17212/1814-1196-2018-1-7-18.
15. Listvin, A. V., Listvin, V. N. Reflectometry of optical fibers [*Refleksometriya opticheskikh volokon*]. Moscow, LESARart publ., 2005, 208 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/listvin-av-listvin-vn-reflektometriya-opticheskikh-volokon_505adaab51a.html. Last accessed 09.01.2021.
16. Zhou, Ting; Jia, Hao. Method to optimize optical switch topology for photonic network-on-chip. *Optics Communications*, 2018, Vol. 413, pp. 230–235. DOI: 10.1016/j.optcom.2017.12.062. ●

Information about the authors:

Kazansky, Nikolai A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, nkazan@inbox.ru.
Lysyuk, Polina I., Teacher of special subjects at the College of Communications No. 54 named after P. M. Vostrukhin, Moscow, Russia, polina-lpi@mail.ru.

Article received 27.07.2019, updated 18.09.2020, 19.01.2021, approved 06.09.2021, accepted 17.09.2021.



Analysis of Structural Design of Tracked Road Trains for Off-Road Container Transportation



Georgy O. KOTIEV



Kirill B. EVSEEV



Zakhid A. GODZHAEV

Georgy O. Kotiev¹, Kirill B. Evseev², Zakhid A. Godzhaev³

^{1, 2} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.

³ VIM Federal Scientific Agricultural Engineering Centre, Moscow, Russia.

✉ ² kb_evseev@bmstu.ru.

ABSTRACT

The article substantiates the relevance of comprehensive comparison of various versions of vehicles for off-road container transportation.

Following the need to identify a specific engineering solution for development of a tracked road train, it is proposed to use the analytic hierarchy process designed to solve problems associated with determining the priorities of the multicriteria hierarchical structure of the goal, as well as in the presence of heterogeneous criteria or dimensional and dimensionless indicators.

The comprehensive comparison of vehicles for off-road container transportation is based on the hierarchy of the mobility features, which is considered decisive for the choice of the priority variant of the structural design.

The objective of the work is to substantiate the choice of a priority engineering solution for structural design of tracked road trains for off-road container transportation based on a scientifically grounded hierarchy of the mobility features.

To attain the objective, a consistent solution of the following tasks is suggested as follows: development of requirements for vehicles and for a hierarchy of operational properties; analysis of existing structural design and layout solutions and justification of the choice of alternative solutions (specific designs of tracked road trains); conduct of a hierarchical synthesis of criteria based on the results of expert assessment; identification of the preliminary priority of alternative solutions; obtaining indicators of operational properties

by methods of simulation mathematical modelling and/or full-scale mathematical modelling; choice of the priority engineering solution.

The article discusses the feasibility of using tracked road trains both for transportation of a single 45-foot container and for simultaneous transportation of two 20-foot containers with a total mass of 61 tonnes. The analysis of the existing versions of structural design of tracked road trains has shown that only a vehicle of SVG-701 «Yamal» series, developed in the 1980s and which is not currently manufactured, can provide such a payload capacity. Existing modern articulated tracked vehicles cannot provide transportation of such goods. Hence, the relevance of the task of determining the priority engineering solution referring to structural design and layout of tracked road trains at the present stage of development of technology.

Tracked single-hinged articulated semi-trailer road train and a double-hinged tracked road train are proposed as variants of structural design and layout versions of tracked road trains for off-road container transportation. Based on the analytic hierarchy process, opinions of experts and the hierarchy of operational properties, it was established that the engineering solution referring to double-hinged tracked road train should be prioritised. However, due to the small difference between the values of indicators used to select the options, it is necessary to conduct further studies to determine the values of the indicators of operational properties and to re-compare the options considering the results obtained.

Keywords: tracked road train, technical characteristics, design and layout, analytic hierarchy process, priority engineering solution.

For citation: Kotiev, G. O., Evseev, K. B., Godzhaev, Z. A. Analysis of Structural Design of Tracked Road Trains for Off-Road Container Transportation. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 151–162. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-3>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Today, many countries actively explore areas that have been previously less accessible and that have not got a developed road network, or hard-surface roads. Rational choice of vehicles that meet series of criteria linked to climatic and economic operation conditions is among core elements, necessary for development of optimal transportation and logistics patterns. The on-going containerisation of freight haulage, along with its growing efficacy through reduced transshipment costs and better safety of goods, highlights relevance of finding engineering solutions that will ensure delivery of freight containers to such areas. The case that should be particularly studied refers to geographical zones where wheeled vehicles could not be operated, i.e., areas of the Far North. The above conditions prove the need for optimal structural design and layout of relevant vehicles (V).

There are various methods to carry out a comprehensive comparison of various options. There are well-known methods based on the use of generalised estimates referring to various properties, they are discussed in detail in [1; 2]. However, such methods are rather complicated for practical application since they consider a relatively small set of property meters, contain a large number of subjective assessment coefficients, and most of them are poorly applicable at the stage of research work.

At present, comprehensive comparison of effectiveness of various vehicles widely applies the analytic hierarchy process (AHP), developed by T. Saaty to solve problems associated with the need to determine the priorities within the multi-criteria hierarchical structure of the goal [3; 4]. The main advantage of the method is the ability to simultaneously consider various heterogeneous criteria, which can have not only dimensional and dimensionless property indicators but be subject also to a quantitative and qualitative assessment. There are known works in the field of comprehensive comparison of various vehicles, based on AHP, which confirm the effectiveness of the method [5–11].

The *objective* of the study is to justify the choice of priority engineering solution for designing tracked road trains for off-road container transportation based on the scientifically substantiated hierarchy of mobility features.

RESULTS

Analytic Hierarchy Process

Let us consider the application of the analytic hierarchy process for comparing various variants of structural and layout design of vehicles for off-road container transportation. Since the use of wheeled vehicles, as a rule, requires roads or prepared terrain, this type of vehicle is excluded from consideration.

Based on the developed hierarchy of operational features [12], we will conduct comparative assessment of alternative solutions referring to vehicles for off-road container transportation with analytic hierarchy process, assuming that mobility is the key criterion for choosing structural design and layout.

The analytic hierarchy process for determining the significance of the criteria for the hierarchy of operational features of vehicle mobility for off-road container transportation can be presented in the form of the following sequential steps [3; 4]:

1. Development of a hierarchy of operational features of vehicle mobility for off-road container transportation.
2. Development of matrices of paired comparisons for each level of criteria.
3. Obtaining expert judgments for each matrix of paired comparisons.
4. Identification of local priorities of criteria and alternatives.
5. Determination of matrix consistency.
6. Synthesis of priorities.
7. Determination the consistency of the hierarchy.

Analysis of Structural Design and Layout Solutions for Vehicles Intended for Off-Road Container Transportation

The article [13] has stated that a radical increase in the vehicle's cross-country ability for off-road container transportation can be achieved only by using articulated multi-body tracked vehicles or tracked road trains. Let us consider the existing and possible design and layout solutions for tracked road trains intended for container transportation, considering their classification [13–16].

Work on creation of experimental samples of tracked road trains for transportation of heavy indivisible cargo in Russia was carried out at NII-21 Research Institute. As a result, in 1964, a prototype model of DGM-1 tracked all-terrain vehicle with a payload capacity of 16 tonnes was



Pic. 1. DGM-1 articulated tracked all-terrain vehicle¹.



*Pic. 2. Self-propelled launcher «object 825» (layout).
(The historical and engineering museum of Kirov plant JSC, 2001. Photo: bastion-karpenko.narod.ru²).*

created (Pic. 1)¹, the design followed a semitrailer scheme. During road tests, the advantages of tracked road trains were determined as compared to single tracked vehicles when driving in the Far North in terms of cross-country ability, payload and cargo capacity.

Another known design and layout solution for a tracked chassis was obtained in 1970 following a series of research and development projects carried out by KB-3 design bureau of Leningrad Kirov plant and resulted in development of prototypes of a self-propelled tracked launcher, made according to the rail wagon scheme: «object 825 Sp2» and «object 825 Sp3», which are two tracked vehicles with independent control and connected through articulated rotary supports with a carriage frame with a carrying capacity of 60 tons. The structural and layout solution did not receive its development due to high requirements for vibration stress to the transported cargo, which at that time could

not be met using the chassis of existing tracked vehicles. The external view of the model «object 825» based on two tanks² is shown in Pic. 2.

Another tracked road train was developed by SKB Gazstroy Mashina Design Bureau. It is BT361A-01 Tyumen articulated tracked all-terrain vehicle, developed in the late 1970s. The tracked all-terrain vehicle is made according to a trailed multi-hinge scheme: it had two tracked bogies pivotally connected to the transport platform; the bogies in turn were connected to each other using an articulation unit. The all-terrain vehicle was equipped with YaMZ-240BM diesel engine and had a mechanical driveline of the wheels of tracked bogies. The curvilinear movement of the all-terrain vehicle was carried out by controlling hydraulic cylinders in the articulation unit. To prevent the occurrence of longitudinal angular vibrations, shock absorbers were installed in pivot assemblies connecting the transport platform to the tracked bogies. The

¹ Stepanov, A. Articulated all-terrain tracked and wheeled vehicles. *Technika i vooruzheniya*, 2003, Iss. 12, pp. 34–38. [Electronic resource]: Portal WikiReading. Section: Military. <https://military.wikireading.ru/56023>. Last accessed 21.09.2021.

² Internet portal of the Arms of Russia information agency. [Electronic resource]: <https://www.arms-expo.ru/articles/armed-forces/rvsn-nerealizovannyi-proekt-pgrk-tselina-2-s-raketoy-rt-23uttkh-15zh62/>. Last accessed 21.09.2021.





Pic. 3. Articulated tracked all-terrain vehicle BT361A-01 Tyumen³.

Table 1
Technical features of Tyumen BT361A-01^{1,3}

Parameter	Value*
Engine power, kW	220
Average pressure of the engine on the ground, kg/cm ²	0,33
Curb weight, t	46
Payload capacity, t	36
Maximum speed, km/h	15
Ground clearance, mm	600
Overall dimensions (L x W x H), mm	15560 x 3740 x 3760
Track width, mm	1200
Transport platform dimensions (L x W), mm	8000 x 3500
Climbing angle, degree	16
Minimum turning radius, m	17
The depth of the ford to be overcome, m	1,5

* See, e.g., [Electronic resource]: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/617530>. Last accessed 21.09.2021.

external view of the all-terrain vehicle BT361A-01 Tyumen³ is shown in Pic. 3, and its technical characteristics are given in Table 1.

In the late 1980s, Yamal SVG-701 tracked all-terrain vehicle with a payload capacity of up to 70 tonnes was developed in collaboration with the Canadian Foremost Industries⁴. The all-

terrain vehicle was built according to a double-hinged four-tracked scheme: two independent crawler tracks are interconnected by means of two hinges with a loading platform on which the cabin and the engine compartment were located. The external view of Yamal SVG-701 all-terrain vehicle³ is shown in Pic. 4, and its technical features are given in Table 2.

Another design of tracked road trains refers to four-tracked all-terrain vehicles, made according to a double-hinge bolster-tractor scheme, with two tracked bogies, rotary supports of which have a mechanical connection between each other, which ensures coordination of the angles of rotation of tracked bogies in the horizontal plane when turning the all-terrain vehicle, while tracked bogies could independently «swing» in the longitudinal plane of the bogie. In 1973, NAMI [Central research institute for road vehicles and engines] developed the first prototype called NAMI-0157 with a carrying capacity of 8 tons, made according to this scheme. Subsequently, in the 1980s, UralAZ launched serial production of Ural-5920 all-terrain vehicle^{5, 6, 7}, its external view is shown in Pic. 5. Technical characteristics

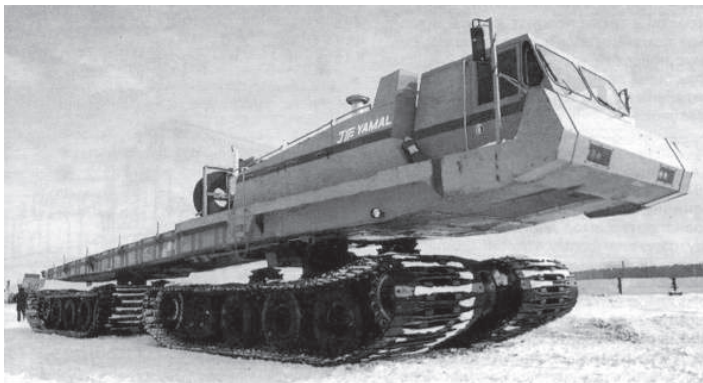
³ Slavina, O. Yamal all-terrain vehicle: a swamp monster [Vezdekhod Yamal: bolotny monstr]. «5 wheel» car web portal. [Electronic resource]: <https://5koleso.ru/articles/obzory/vezdekhod-yamal-bolotnyy-monstr/>. Last accessed 21.09.2021.

⁴ Porter, D. From the Archives, The Foremost Yamal | Foremost Blog. Foremost Industries Website. [Electronic resource]: <https://www.foremost.ca/archives-foremost-yamal/>. Last accessed 21.09.2021.

⁵ Automotive website Wroom.ru. [Electronic resource]: <https://wroom.ru/cars/ural/5920>. Last accessed 21.09.2021.

⁶ Automotive website All-auto.ru. [Electronic resource]: <https://all-auto.org/858-ural-5920.html>. Lsstd accessed 21.09.2021.

⁷ Samoilenko, V. Ural-5920: the vehicle that does need roads [Ural-5920 – mashina, kotoraya ne nuzhdaetsya v dorogakh]. FB Internet site. 08.11.2016. [Electronic resource]: <https://fb.ru/article/275695/ural-mashina-kotoraya-ne-nuzhdaetsya-v-dorogah>. Last accessed 21.09.2021.



Pic. 4. Yamal SVG-701 tracked all-terrain vehicle.

Table 2
Technical features of Yamal SVG-701³

Parameter	Value
Engine power, kW	525
Average pressure of the engine on the ground, kg/cm ²	0,39
Curb weight, t	97,5
Payload capacity, t	70
Maximum speed, km/h	15
Ground clearance, mm	520
Overall dimensions (L x W x H), mm	20560 x 4700 x 4500
Track width, mm	1850
Transport platform length, mm	12000
Climbing angle, degree	30
Minimum turning radius, m	22
The depth of the ford to be overcome, m	2,6

Table 3
Technical features of the Ural-5920 all-terrain vehicle

Parameter	Value
Engine power, kW	154
Average pressure of the engine on the ground, kg/cm ²	0,22
Curb weight, t	14,5
Carrying capacity, t	8
Maximum speed, km/h	30
Overall dimensions (L x W x H), mm	9900 x 300 x 3700
Track width, mm	970
Transport platform dimensions (L x W), mm	5740 x 2317
Climbing angle, degree	30
Minimum turning radius, m	14
The depth of the ford to be overcome, m	1,8

of Ural-5920 all-terrain vehicle are given in Table 3.

Among the foreign experimental samples of tracked road trains, we note the prototype of Midgetman mobile ground-based strategic missile system, developed jointly by Martin Marietta and Caterpillar in the United States at the end of the 1980s, based on a trailer design. The total mass of the tracked road train was 108 tonnes^{8,9} (Pic. 6).

There are structural and layout solutions referring to four-tracked all-terrain vehicles, made according to a saddle single-hinge scheme, most famous among which are the Nodwell tracked all-terrain vehicles: Nodwell RN200 with a payload capacity of 12 tonnes and Nodwell

RN400 with a payload capacity of 18 tonnes. Then, Foremost Industries launched series of four-tracked all-terrain vehicles made with centre pivot articulated steering: Foremost Chieftain-D with payload capacity of 13,6 tonnes and Foremost Husky-8 with payload capacity of 36 tonnes, which are still manufactured. The external view of Foremost Husky-8 all-terrain vehicle¹⁰ is shown in Pic. 7, and the technical features are described in Table 4.

In addition, among four-tracked all-terrain vehicles manufactured by Foremost, we will single out the following models: Foremost Chieftain-R with a payload capacity of 13,6 tonnes and Foremost Chieftain-C with a payload capacity of 15 tonnes, made according to a trailed articulated scheme. They have hydraulic actuator on the articulation point to steer the vehicle.

⁸ Secret Projects Forum. [Electronic resource]: <https://www.secretprojects.co.uk/threads/midgetman-sicbm-mobile-launchers.1076/>. Last accessed 21.09.2021.

⁹ ICBM Hard Mobile Launcher. [Electronic resource]: <https://weaponsandwarfare.com/2019/06/05/icbm-hard-mobile-launcher/>. Last accessed 21.09.2021.

¹⁰ Foremost Industries website. [Electronic resource]: <https://www.foremost.ca/foremost-mobile-equipment/tracked-vehicles/husky-8/>. Last accessed 21.09.2021.





Pic. 5. Ural-5920 eracked all-terrain vehicle.



Pic. 6. Mobile soil missile system Midgetman⁹.

Table 4
Technical features of Foremost Husky-810

Parameter	Value
Engine power, kW	328
Average pressure of the propeller on the ground, kg/cm ²	0,32
Curb weight, t	42,9
Carrying capacity, t	36,3
Maximum speed, km/h	14,5
Ground clearance, mm	533
Overall dimensions (L x W x H), mm	14757 x 3632 x 3810
Track width, mm	1430
Transport platform dimensions (L x W), mm	10465 x 2743
Climbing angle, degree	31
Minimum turning radius, m	14
The depth of the ford to be overcome, m	1,43

Tracked road trains produced today in the Russian Federation comprise dual-body tracked all-terrain vehicles of Vityaz series with various payload capacity, made according to a trailed scheme, the curvilinear movement of which is provided by a kinematic method, by creating a folding moment in the swing-coupling device located between the sections.

Two-section tracked DT-30-1 or DT-30MN tractors can be used for off-road container

transportation, as a base model if additionally equipped with a loading platform. The external view and overall dimensions of tracked trucks¹¹ are shown in Pics. 8 and 9, and their technical features are described in Table 5.

Let us present the main technical features of existing tracked road trains graphically showing the form of their dependences on payload capacity of the vehicle (Pic. 10).

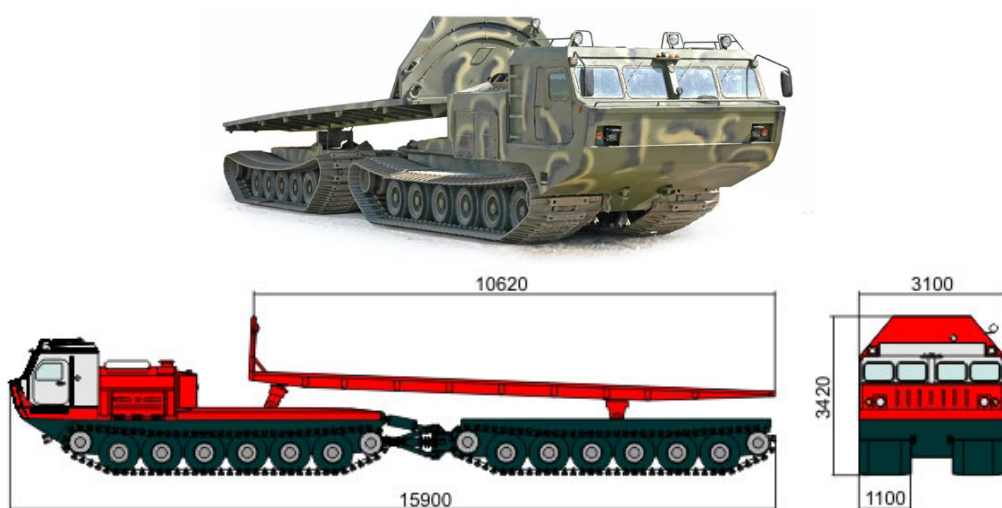
Analysing technical features as a function of payload capacity, the following conclusions can be drawn:

- With an increase in the payload capacity of tracked road trains, the minimum turning radius and the average pressure on the ground increase, while the payload capacity's rate is on average 0,8 and mainly depends on the adopted design and layout solutions.
- Average ground pressure of the considered tracked all-terrain vehicles is in the range from 0,2 to 0,4 kg/cm².
- Maximum speed is determined by the power of the engine and, depending on payload capacity and the adopted design and layout solutions, varies from 15 km/h to 37 km/h.

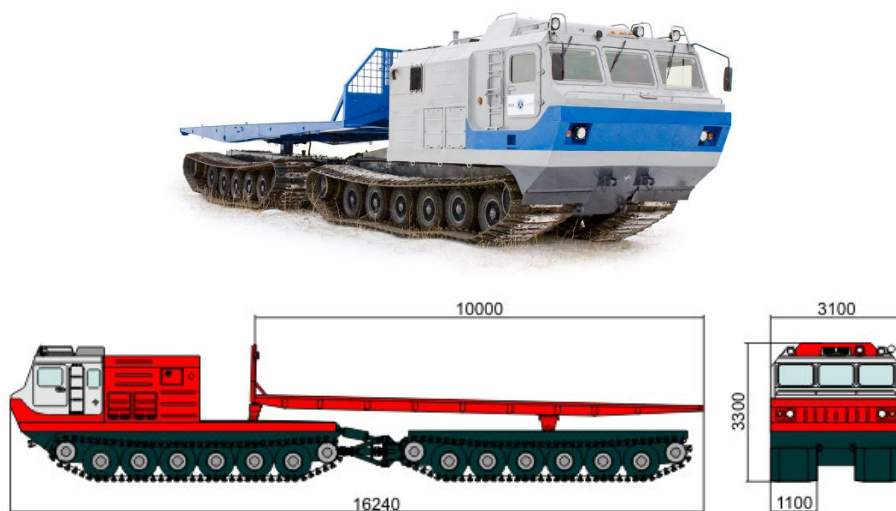
¹¹ Vityaz: a machine-building company located in the city of Ishimbay. [Electronic resource]: <http://www.bolotohod.ru/>. Last accessed 21.09.2021.



Pic. 7. Foremost Husky-8 tracked all-terrain vehicle¹⁰.



Pic. 8. DT-30-1 articulated tracked ATV and its overall dimensions¹¹.



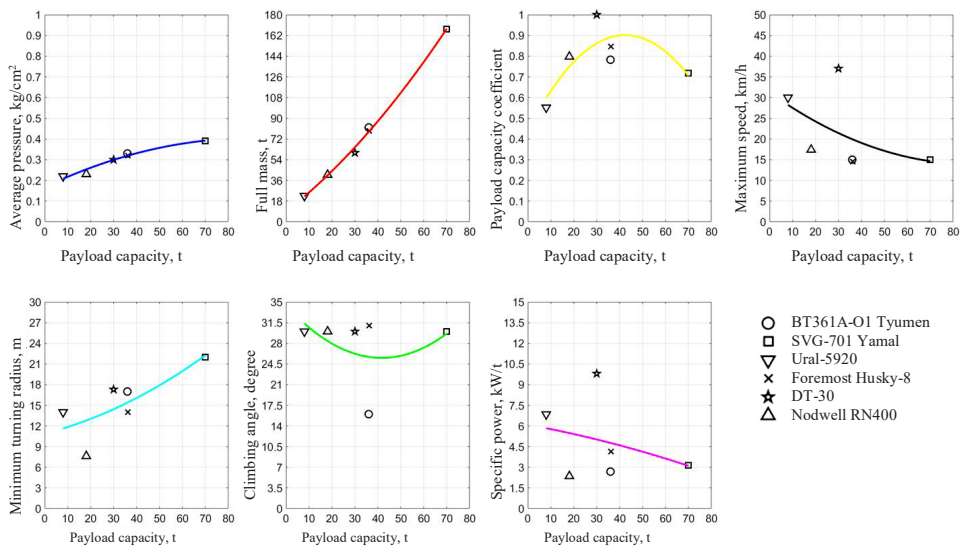
Pic. 9. DT-30MN articulated tracked ATV and its overall dimensions¹¹.



Table 5

Technical features of tracked DT-30-1 and DT-30MN ATVs¹¹

Parameter	DT-30-1	DT-30MN
Engine power, kW	522	588
Average pressure of the propeller on the ground, kg/cm ²	0,3	0,3
Curb weight, t	29	30
Carrying capacity, t	30	30
Maximum speed, km/h	37	37
Ground clearance, mm	350	350
Overall dimensions (L x W x H), mm	15900 x 3100 x 3420	16240 x 3100 x 3300
Track width, mm	1100	1100
Loading platform length, mm	10620	10000
Climbing angle, degree	30	30
Minimum turning radius, m	17,3	17,3
The depth of the ford to be overcome, m	1,8	1,8



Pic. 10. Technical features of existing tracked road trains (compiled by the authors).

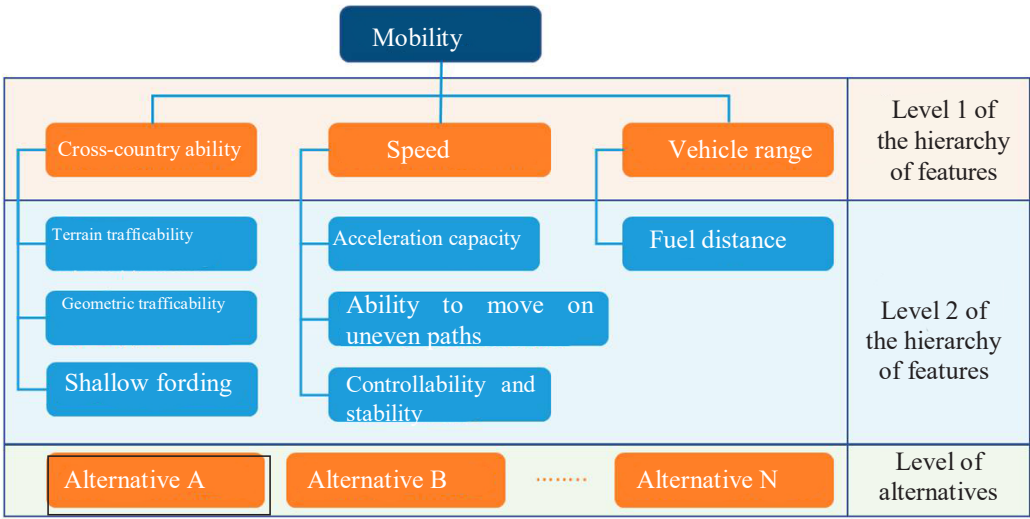
• The angle of the overcome climb for all considered tracked all-terrain vehicles takes on an almost constant value of at least 30 degrees.

Solution to the Problem of Selecting Optimal Variant

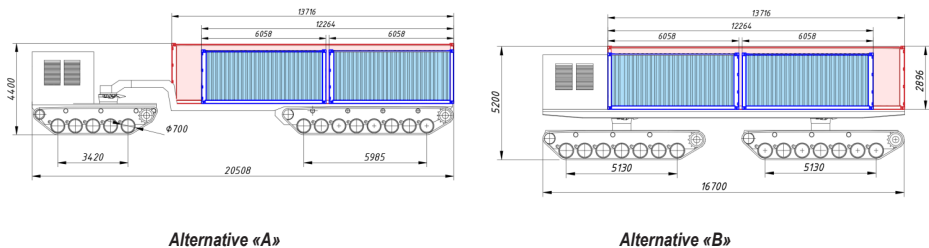
When using tracked road trains for container transportation, it is economically expedient to transport containers using a single universal vehicle, which allows transporting a single 45-foot container or transporting two 20-foot containers. Thus, the vehicle's payload capacity is determined by the total gross weight of two 20-foot containers (61 t), and the overall dimensions of the loading platform should correspond to the dimensions of a 45-foot container. Of the described tracked all-terrain vehicles, only Yamal SVG-701 all-terrain

vehicle, which is currently not produced, can provide such a payload capacity. The payload capacity of modern articulated tracked DT-30-1 and DT-30MN ATVs is 30 tonnes, thus the overall dimensions of the loading platform and their payload capacity allow transporting only a single 20-foot container. The considered foreign samples of tracked road trains also cannot provide the required payload capacity or are a defence object. Hence, the relevance of the task to determine a priority engineering solution for tracked road trains intended for container transportation and allowing transportation of one 45-foot container and of two 20-foot containers.

To solve the problem of determining the preferred version of the technical characteristics of a vehicle for off-road container transportation, we will use AHP. To build the hierarchy of



Pic. 11. Hierarchy of operational features of vehicles for container transportation (compiled by the authors).



Pic. 12. Alternative versions of tracked vehicles for container transportation (compiled by the authors).

Table 6

Matrix of paired comparisons of criteria of the first level of the hierarchy (compiled by the authors)

Mobility	Cross-country ability	Speed	Vehicle range
Cross-country ability (K1)	1	5	3
Speed (K2)	1/5	1	1/3
Vehicle range (K3)	1/3	3	1

mobility (Pic. 11) [12], in accordance with AHP, we will compile tables of matrices of paired comparisons of criteria and alternative solutions using expert assessments made by the authors.

As compared alternatives, we will consider unmanned tracked road trains: a single-joint semi-trailer tracked road train (alternative «A») and a double-joint tracked road train (alternative «B»), the technical characteristics of which are considered and substantiated in [13]. The external view of the alternative versions of the considered tracked vehicles is shown in Pic. 12.

After expert assessment for the first upper level of the hierarchy, the matrix of paired comparisons will have the form shown in Table 6.

Also, matrices of pairwise comparisons according to criteria of the second level of the hierarchy are compiled and local priorities are determined. Matrices of paired comparisons for the criteria of the second level of the hierarchy are presented in Tables 7 and 8.

The local priorities of the fuel distance criterion (K3.1) will correspond to the local priorities of vehicle range criterion of the first level of the hierarchy.

For each matrix of paired comparisons of criteria, local priorities are determined, and then for the criteria of the lower level, global priorities are determined (Table 9), considering the local priorities of the criteria of the higher level of the hierarchy of properties.



Table 7

**Matrix of paired comparisons as per cross-country ability criterion
(compiled by the authors)**

Cross-country ability	Terrain trafficability	Geometric trafficability	Shallow fording
Terrain (off-road) trafficability (K1.1)	1	3	3
Geometric trafficability (K1.2)	1/3	1	1
Shallow fording (K1.3)	1/3	1	1

Table 8

Matrix of paired comparisons of speed criterion (compiled by the authors)

Speed	Acceleration capacity (responsiveness)	Ability to move on uneven paths	Controllability and stability
Acceleration capacity (K2.1)	1	5	1/7
Ability to move on uneven paths (K2.2)	1/5	1	1/9
Controllability and stability (K2.3)	7	9	1

Table 9

**Global priorities of the criteria
of the lower level of the hierarchy
(compiled by the authors)**

Criterion	Priority
Terrain trafficability (K1.1)	0,382
Geometric trafficability (K1.2)	0,1275
Shallow fording (K1.3)	0,1275
Acceleration capacity (K2.1)	0,015
Ability to move on uneven paths (K2.2)	0,045
Controllability and stability (K2.3)	0,045
Fuel distance (K3.1)	0,258

Analysing the resulting vector of global priorities for the criteria of the lower level of the hierarchy, we can conclude that the priority criteria are the following (in the order of decrease in importance): terrain trafficability, fuel distance, geometric trafficability and shallow fording. The listed criteria to a greater extent affect the choice of a specific design of the vehicle in comparison with the others: acceleration capacity, controllability and stability and the ability to move on uneven paths. The defining criterion is terrain trafficability, which has a maximum priority of 0,382.

Similarly, for the considered vehicle's alternatives, considering expert judgment (qualitative assessment), a matrix of paired comparisons of alternatives was obtained and a vector of local priorities for each matrix was determined (Table 10).

To assess the adequacy of the results obtained, it is necessary to assess the consistency of the matrices of paired comparisons, which reflect subjective judgments, since the components

included in them, as a rule, differ from the agreed values. A measure of the degree of deviation from consistency is the consistency index (Ic) [4], which is determined by the following expression:

$$Ic = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

where $\lambda_{\max}$ – maximum eigenvalue of the considered pairwise comparison matrix, and n – dimension of the pairwise comparison matrix.

The consistency index is compared with a statistical random value called a random index (RI), which is obtained after processing a large number of matrices of different dimensions [3; 4]. Deviation from consistency is considered acceptable when the ratio of Ic to RI is less than 10 %. For the considered matrices of pairwise comparisons, the ratio of Ic to RI does not exceed 2,5 %, thus, the opinions of experts are considered consistent.

Further, based on the obtained global priorities of the criteria and local priorities of the alternatives, a hierarchical synthesis is carried out, as a result of which the global vector of the preference of the alternatives is determined, the results are shown in Table 11.

Thus, analysing the results obtained based on expert judgment, it can be established that the priority engineering solution is a saddle double-jointed tracked road train, however, given the insignificant difference in the values of the global priority vector, further research is needed to determine the values of feature indicators and to reassess it, considering the results obtained. Obviously, comparative assessment of the effectiveness of design of tracked road trains for newly developed vehicles is not possible without

Table 10

**Matrices of pairwise comparisons of alternatives and the vector of their local priorities
(compiled by the authors)**

			Priority vector				Priority vector
K1.1	A	B		K2.1	A	B	
A	1	1	0,5	A	1	1	0,5
B	1	1	0,5	B	1	1	0,5
K1.2	A	B		K2.2	A	B	
A	1	1/3	0,25	A	1	1	0,5
B	3	1	0,75	B	1	1	0,5
K1.3	A	B		K2.3	A	B	
A	1	1/5	0,17	A	1	5	0,83
B	5	1	0,83	B	1/5	1	0,17
K3.1	A	B					
A	1	1	0,5				
B	1	1	0,5				

Table 11

**Global priorities of alternatives
(compiled by the authors)**

Alternative	Priority
«A»	0,44
«B»	0,56

mathematical simulation of work processes using a computer [17; 18]. Also, to solve the presented problem, a complex of full-scale mathematical modelling can be effectively used, which makes it possible to simulate movement of vehicles along statistically specified routes under the control of a «driver-operator» who is at a computer in «real time».

Thus, comparison of various design and layout options for tracked road trains for off-road container transportation consists of the following stages:

- Development of a hierarchy of operational features further divided into criteria tiers.
- Identification of alternatives based on the analysis of structural and layout designs.
- Expert assessment of alternative options using the analytic hierarchy process; selection of alternatives.
- Determination of indicators of features for the selected alternative options by methods of mathematical simulation (full-scale mathematical modelling).
- Choice of the priority engineering solution, considering the results obtained during simulation of mathematical modelling (full-scale mathematical modelling).

CONCLUSIONS

Following the analysis of design and layout of existing tracked road trains, dependencies were found that reflect the change in the main

technical characteristics associated with the required payload capacity of the vehicle. Of the presented tracked all-terrain vehicles, only Yamal SVG-701 all-terrain vehicle, which is not currently manufactured, can provide such a payload capacity. Existing tracked all-terrain vehicles cannot provide the required carrying capacity, therefore, based on the analysis results, requirements were developed for technical characteristics of vehicles intended for transportation of one 45-foot container or two 20-foot containers. Based on the hierarchy of operational features of unmanned tracked road trains intended for off-road container transportation, and the opinions of experts, it was established through the analysis of hierarchies that the priority engineering solution is a saddle double-jointed tracked road train, but due to the insignificant difference in the values of assessed global priorities for tracked road trains, further studies are required to determine the values of indicators of features using mathematical modelling of the working processes of tracked road trains and its re-evaluation, considering the results obtained.



REFERENCES

1. Morozov, A. V., Kotrovsky, A. A., Filev A. V. The choice of the method of comprehensive comparison of objects of armoured vehicles at the design stage [*Iybor metoda kompleksnogo sravneniya obektov avtoobronetankovoi tekhniki na etape proektirovaniya*]. *Proceedings of NSTU n.a. R. E. Alekseev*, 2014, Iss. 2 (104), pp. 120–123. [Electronic resource]: <https://www.ntnu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2014/02/120-123.pdf>. Last accessed 22.09.2021.
2. Shipilov, V. V., Kasparov, V. B., Akimushkin, A. V. [et al]. Methods for assessing the effectiveness of four-wheel drive vehicles [*Metody otsenki effektivnosti polnoprivodnoi avtomobilnoi tekhniki*] / Ed. by V. V. Shipilov. Bronnitsy, 2005, 144 p.
3. Saaty, T. L. Decision-making. Method for analysing hierarchies [In Rus: *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierararkhii*]. Moscow, Radio i svyaz publ., 1993, 278 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/saati-t-prinyatie-resheniy-metod-analiza-ierarkhiy_7fc4629a50e.html. Last accessed 22.09.2021.
4. Saaty, T. L., Kearns, K. Analytical planning. Organisation of systems [In Rus: *Analiticheskoe planirovanie. Org. sistem*]. Moscow, Radio i svyaz publ., 1991, 224 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/saati-t-kerns-l-analiticheskoe-planirovanie-organizaciya-sistem_62e9f43e1af.html. Last accessed 22.09.2021.
5. Pliev, I. A. Evaluation of the technical level of families of multi-purpose vehicles based on the method of analysis of hierarchies [*Otsenka tekhnicheskogo urovnya semeistv avtomobilei mnogotsелеvogo naznacheniya na osnove metoda analiza ierararkhii*]. *Journal AAI*, 2010, Iss. 3 (62), pp. 46–49. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21251680>. Last accessed 22.09.2021.
6. Pliev, I. A. Evaluation of the technical level of families of multi-purpose vehicles based on the method of analysis of hierarchies [*Otsenka tekhnicheskogo urovnya semeistv avtomobilei mnogotsелеvogo naznacheniya na osnove metoda analiza ierararkhii*]. *Journal AAI*, 2010, Iss. 5 (64), pp. 50–54. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22076583>. Last accessed 22.09.2021.
7. Ryazantsev, V. I., Morozov, A. V. Methodology for coordination of expert assessments obtained by individual questionnaires by the method of analysis of hierarchies [*Metodika provedeniya soglasovaniya ekspertnykh otsenok poluchennykh putem individualnogo anketirovaniya metodom analiza ierararkhii*]. *Inzhenernyi vestnik*, 2014, Iss. 12, pp. 1–9. [Electronic resource]: <http://www.ainjournal.ru/file/out/742942>. Last accessed 22.09.2021.
8. Morozov, A. V. Complex comparison of objects of military vehicles of the MRAP type at the design stage [*Kompleksnoe sravnenie obektov voennoi avtomobilnoi tekhniki tipa MRAP na stadia proektirovaniya*]. *Journal AAI*, 2015, Iss. 1 (90), pp. 40–45. [Electronic resource]: <http://www.aae-press.ru/f/90/40.pdf>. Last accessed 22.09.2021.
9. Dubensky, M. Ya. Method of choosing a base chassis when creating a special vehicle. Ph.D. (Eng) thesis [*Metod vybora bazovogo shassi pri sozdaniy spetsavtomobilya. Dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, 1999, 130 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002797298>. Last accessed 22.09.2021.
10. Postnikov, M. V. Method of complex comparison of military tracked vehicles based on the analysis of hierarchies. Ph.D. (Eng) thesis [*Metod kompleksnogo sravneniya voennykh gusenichnykh mashin na osnove analiza ierararkhii. Dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2003, 240 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002327454>. Last accessed 22.09.2021.
11. Naumov, V. N., Rozhdestvensky, Yu. L., Brekalov, V. G. Assessment of structures and layouts of military tracked vehicles using the method of analysis of hierarchies: Study guide [*Otsenka konstruktivnykh i komponentov voennykh gusenichnykh mashin s pomoshchyu metoda analiza ierararkhii. Ucheb. posobie*]. Moscow, Publishing house of Bauman MSTU, 2005, 64 c.
12. Evseev, K. B. Hierarchy of operational properties of vehicles for transportation of heavy indivisible cargo in the Far North [*Ierararkhiya ekspluatatsionnykh svoistv transportnykh sredstv dlya perevozki tyazhelykh nedelimykh gruzov v usloviyakh Krainego Severa*]. *Proceedings of NSTU n.a. R. E. Alekseev*, 2021, Iss. 2 (133), pp. 74–84. [Electronic resource]: <https://www.ntnu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2021/02/074-084.pdf>. Last accessed 22.09.2021.
13. Evseev, K. B. To the issue of formation of technical appearance of ground vehicles intended for off-road container transportation [*K voprosu o formirovani tekhnicheskogo obika nazemnykh transportnykh sredstv, prednaznachennykh dlya vnedorozhnykh konteynernykh perevozok*]. *Gruzovik*, 2021, Iss. 7, pp. 3–8. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46380850>. Last accessed 22.09.2021.
14. Tarasov, V. V., Farobin, Ya. E. Study of agility of articulated tracked vehicles [*Issledovanie povorotlivosti sochlenennykh gusenichnykh mashin*]. *Vestnik bronetankovoi tekhniki*, 1964, Iss. 1, pp. 47–55.
15. Farobin, Ya. E. The theory of rotation of transport machines [*Teoriya povorota transportnykh mashin*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1970, 176 p.
16. Zubov, P. P., Makarov, V. S., Zezyulin, D. V. [et al]. Review of existing designs of articulated tracked vehicles and recommendations for choosing their parameters [*Obzor sushchestvuyushchikh konstruktivnykh sochlenennykh gusenichnykh mashin i rekomendatsii po vybory ikh parametrov*]. *Proceedings of NSTU n.a. R. E. Alekseev*, 2015, Iss. 2 (109), pp. 170–176. [Electronic resource]: <https://www.ntnu.ru/frontend/web/ngtu/files/nauka/izdaniya/trudy/2015/02/170-176.pdf>. Last accessed 22.09.2021.
17. Kotiev, G. O., Gumerov, I. F., Stadukhin, A. A., Kositsyn, B. B. Selection of the required deceleration for high-mobility wheeled vehicles with wear resistant brake systems IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, article No. 879, 2020, pp. 0012030. DOI: 10.1088/1757-899X/819/1/012030.
18. Kotiev, G., Padalkin, B., Miroshnichenko, A., Stadukhin, A., Kositsyn, B. A theoretical study on the high-speed electric tracked vehicle mobility IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, article No. 820, 2020, pp. 00122012. DOI: 10.1088/1757-899X/820/1/012012.

Information about the authors:

Kotiev, Georgy O., D.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Wheeled Vehicles of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, kotievgo@ya.ru.

Evseev, Kirill B., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Wheeled Vehicles of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, kb_evseev@bmstu.ru.

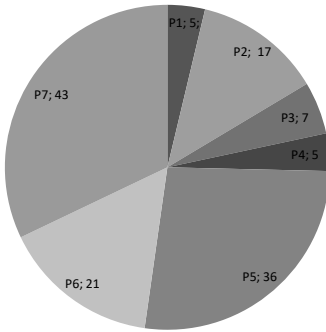
Godzhaev, Zakhid A., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Eng), Professor, Deputy Director of the Federal Scientific VIM Agricultural Engineering Centre (FGBNU FNATS VIM), Moscow, Russia, fic51@mail.ru.

Article received 22.09.2021, approved 20.10.2021, accepted 03.11.2021.



THE SECTION DEDICATED TO ECONOMICS

contains papers offering developments of new transportation services and products as well as hypothetical approaches to assessment of economic and technological factors of transport activity.



EFFICIENCY THROUGH CUSTOM FOCUS 164

How can transport companies use loyalty programs to retain current customers and to attract new ones? Following best practices of air and rail passenger transportation these programs become relevant for shipping private goods by rail. An overview of series of publications by the author summarises previous hypotheses.



ECONOMICS



LOW-COST CARRIER ON THE RAIL TRACK 173

Many railway companies implement flexible rate policy for passengers. There are now entire routes, including those of high-speed rail, that offer budget options under certain conditions. But are there wider prospects for the use of low-cost trains in long distance passenger rail service similarly to civil aviation? The paper puts forward hypotheses about optimal parameters of development of a competitive product and about the need for budget rail services to rely on new technology.

TRANSPORT AND ECONOMICS 178

What is the impact of the transport system on the development and implementation of the economic and technological capacity of a country's region? Is better territorial connectivity capable to become an efficient tool of interconnected development of transport and economic systems? The paper focuses on statement of the problem and suggests first hypotheses.



Analysis of Loyalty of Individual Customers to Increase the Customer Focus of the Cargo Carrier



Olga A. Yusupova

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ qwerty6020@mail.ru.

Olga A. YUSUPOVA

ABSTRACT

The customer focus of cargo carriers plays an extremely important role in the highly competitive market of transport and logistics services, influencing the willingness of companies to be flexible in the pricing policy and other parameters of provision of services when forming a personalised offer to a customer, allowing to attract a range of new customers, to expand the pool of regular customers based on their brand loyalty. One of the modern tools intended to achieve this goal is the customer loyalty program.

The objective of the article is to review and summarise the research and series of recent publications [1–4] by the author and other researchers to substantiate provisions of the customer loyalty program based on analysis and assessment of motives and wishes of customers themselves. To achieve this objective, besides the method of monographic analysis of publications on this topic, the practical part of the research was based on a customer survey.

The object of the study was the RZD-Express service for transportation of groupage cargo provided by JSC RZD Logistic company, the subject of the study was the loyalty of private consignors. The task of survey of respondents was to study consumer preferences and motives for choosing such a service, to analyse their willingness to recommend this service to their entourage, the intention to maintain long-term relations with the company, as well as customers' expectations from interaction with the company.

The interpretation of the results of the survey shows the interest of respondents in availability of such a marketing tool as a loyalty program.

The study permitted to suggest a system of indicators for the assessment of loyalty program, as well as to put forward proposals for formation of provisions of the loyalty program to improve quality of transport services.

Keywords: transport, haulage, customer loyalty, customer focus, quality of transport services.

For citation: Yusupova, O. A. Analysis of Loyalty of Individual Customers to Increase the Customer Focus of the Cargo Carrier. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 164–172. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

A company’s customer focus, its willingness to be flexible in pricing policy and other parameters of provision of transport and logistics services, plays an extremely important role in formation of a personal client proposal in a highly competitive market of transport services. This allows attracting a pool of new customers, expand the range of loyal customers based on their brand loyalty. Customer loyalty program is among modern tools to help achieve this goal. The issue of expediency of developing such a program has been studied by the author earlier [1].

Previous publications of the author [1–4] contained the results of a survey of consignors who had used RZD-Express service. Based on a one-hundred-point scale, the respondents assessed quality of the service from the point of view of customer focus according to the proposed system of criteria, as well as evaluated the significance of the criterion of customer focus itself for them [1–4]. «The survey made it possible to understand that there are a number of «bottlenecks» in the operations in terms of cooperation with individuals when forwarding goods, and the customers indicated the lack of a loyalty program among those gaps» [3].

The *objective* of the research described within the framework of the article is to substantiate the provisions of the customer loyalty program based on analysis and assessment of motives and wishes of the customers themselves. To achieve it, the author used the *method* of monographic study of publications on this topic, as well as the customer survey in the practical part.

RESULTS

Practices and Efficiency of Introduction of Customer Loyalty Programs

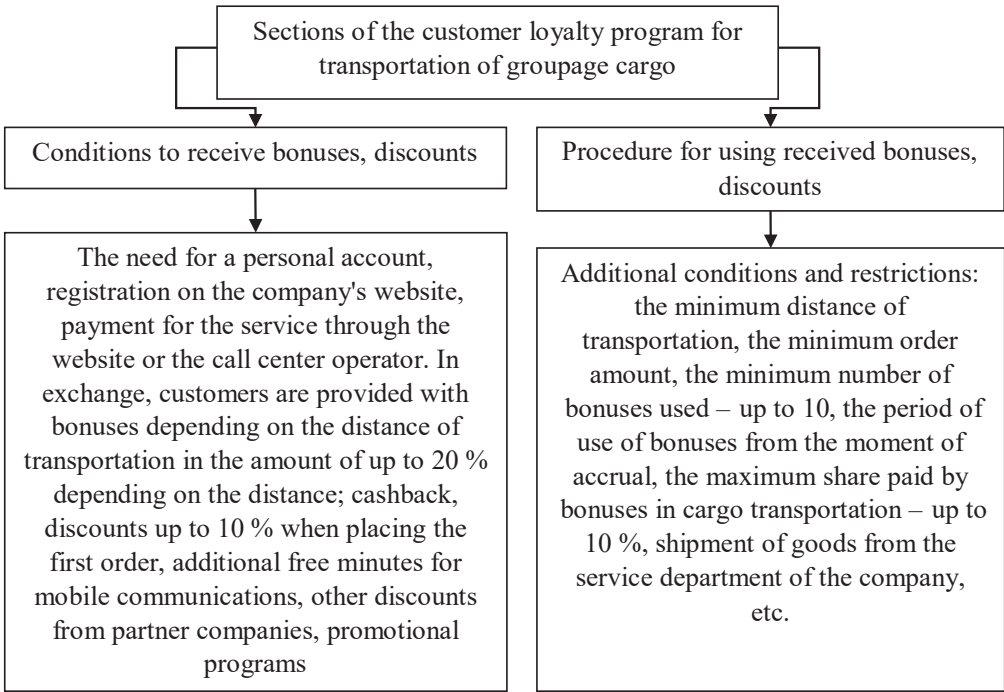
There are at least two weighty arguments in favour of development of such a program.

The first argument is, as it was previously indicated, that «customer loyalty programs, as an effective tool, are used in the practice of transport and logistics companies at domestic and international level» [3].

The author studied the conditions of loyalty programs of such freight carrying companies as TK YAN, Vozovoz, Gruzovickoff, DHL.

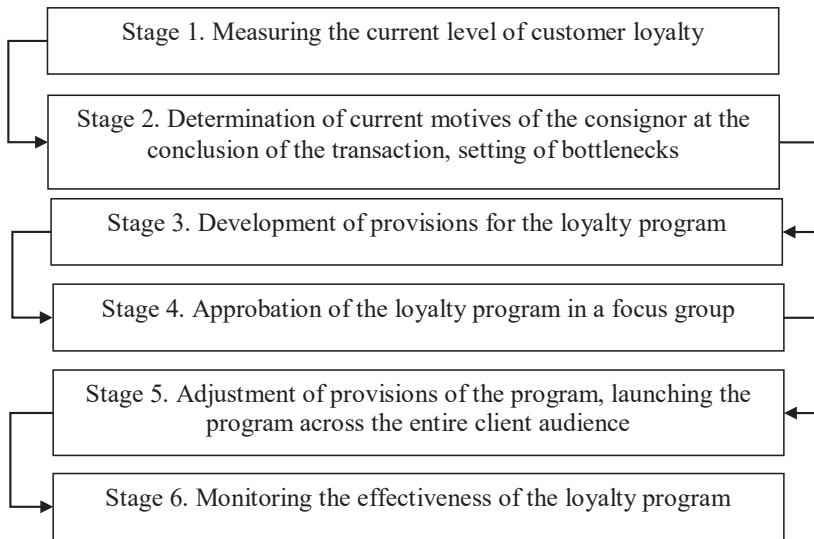
Following the study, the author found that there is a certain accepted template for the content of this program. Besides general provisions, it provides two main sections (Pic. 1).

A detailed study of the conditions of the programs confirms significant duration of their application in



Pic. 1. Sections of the customer loyalty program of a transport and logistics company (compiled by the author).





Pic. 2. Algorithm for development and implementation of a loyalty program in a transport and logistics company (compiled by the author [4]).

the practices of cargo carriers, and, therefore, proves feasibility of such an application.

The second additional argument in favour of introducing a customer loyalty program is the existence of a similar marketing tool in the field of passenger transportation.

Most known are numerous loyalty programs implemented by air companies. They were subject to many scientific (e.g., [5–7]) and consulting researches and publications in business media, on websites of carriers and program partners, as well as to compilation to ranked lists of carriers offered to customers according to divers systems of set criteria.

If we take the immediate example of railway transport in Russia we may mention the «RZD-bonus program, thanks to which, over the course of nine years, passengers have been exchanging accumulated bonuses for travel on trains and in rail coaches of JSC Federal Passenger Company (FPC), on Sapsan and Allegro trains» [3]. «The number of participants in the program is increasing every year» [3] and, according to the latest data, has exceeded the mark of three million people, who have made more than two hundred thousand premium trips over the last five years. The positive experience of the RZD-Bonus program suggests that it is advisable to use a similar tool when building contractual relations with private consignors [3]. It is worth reminding that from the marketing standpoint, RZD-Bonus is a multi-component «product that combines various tools: emotional (competitive and festive events), material (discounts,

promotions, bonuses) », and information one (promotional videos launched in waiting rooms and trains) [3]. «Thanks to the collected data, the company is able to conduct a comprehensive analysis and assessment of the level of passenger satisfaction» [4].

Approaches to Development of Loyalty Programs Intended for Private Persons during Transportation of Groupage Cargo

Development of an effective loyalty program when interacting with individual customers under contracts for transportation of groupage cargo «becomes possible only with consecutive implementation of logically interrelated stages, and not with spontaneous implementation of certain promotions, or copying marketing products of competing companies» (Pic. 2) [4]. Anarchic actions can cause losses for the company, loss of brand credibility, customer base, and the uniqueness of the RZD-Express service in the eyes of consignors.

The first step involves measuring the current level of customer loyalty to the company. Here, the ratio method is the most popular one among all analysis tools. The educational, monographic and periodical literature contains a wide list of coefficients, ratios, indexes; the results of their systematisation have allowed the author to compile the Table 1.

The argument in favour of anticipating the development of the program by calculating the coefficients presented in the Table 1 is associated with the need to form the vision of the current level of loyalty. The calculation of the coefficients

Table 1

**The system of coefficients (ratios) for analysing the customer loyalty
(compiled by the author) [3]**

Indicator name	Calculation mechanism	Economic content
C1 – consignors' turnover coefficient	Ratio of the number of consignors who terminated cooperation with the company during the estimated period to the total number of clients at the beginning of the period	Share of the lost client audience in the client base. It can be calculated both for the company as a whole and for individual offers, for one or several periods
C2 – coefficient of consistency of consignors	Ratio of the number of active clients during the estimated period to the total number of clients at the beginning of the period. $C2 = 1 - C1$	Percentage of consignors who maintained relations with JSC Russian Railways during the estimated period, in the total number of customers at the beginning of the period
C3 – coefficient of retention of consignors	Ratio of the number of consignors who re-used the RZD-Express service to the total number of consignors in the previous period	Percentage of consignors who re-used the RZD-Express service in the total number of customers during the previous period
C4 – average term of cooperation with a consignor	Ratio of the sum of periods of cooperation with each client to the total number of individual consignors	The ration reflects duration of cooperation with customers. The coefficient can be calculated both for the company as a whole and for individual offers, for one or several periods
C5 – coefficient of stability of the client base	Ratio of the customer dropout during the estimated period to the sum of the number of existing customers at the beginning of the period and of the customers attracted during the estimated period.	The ratio illustrates stability of the customer audience. Theoretically, the ratio should tend to 1 (or 100 %)
C6 – average cost of purchased cargo transportation services	Ratio of the sum of all cargo transportation contracts with individuals to the number of individual consignors during the estimated period	The ratio shows the average amount of monetary assets paid by a single consignor
C7 – coefficient of repeated purchases (re-purchases) by consignors	Ratio of the number of contracts for transportation of goods with individuals for the estimated period to the number of individual consignors who have signed a contract for transportation during the estimated period	The ratio shows the number of transactions per consignor

after implementation of the program is needed to «understand the current state of the customer base to track its changes and factors that can influence it in the future» [3].

The author did not directly determine the numerical values of C1–C7 for JSC Russian Railways due to the absence of disclosed data necessary for their calculation.

The results of calculation and analysis of coefficients indicated in the Table 1 may serve the basis for an in-depth study of factors that influenced the obtained values. Thus, the factor analysis of the reasons for turnover of consignors (C1) involves setting of a list of reasons due to which the consignors did not proceed with a repeated transaction. They may comprise cooperation with competing companies, dissatisfaction with the additional services within the main RZD-Express service, with quality of the service, with the conditions of providing guarantees to the client.

In addition to calculating the stability coefficient of the client audience (C5), it is possible to calculate the number of cargo transportation contracts paid for by one customer

(quotient from dividing the number of concluded cargo transportation contracts by the total number of all customers during the estimated period, persons) [3].

INTERPRETATION OF THE RESULTS OF THE SURVEY

The most common indicator in marketing research practice is called the Net Promoter Score, NPS, which is customer loyalty index. To calculate it, a questionnaire is carried out, based on the results of which it is determined to what extent the company's clients are ready to recommend it to their entourage [8–20].

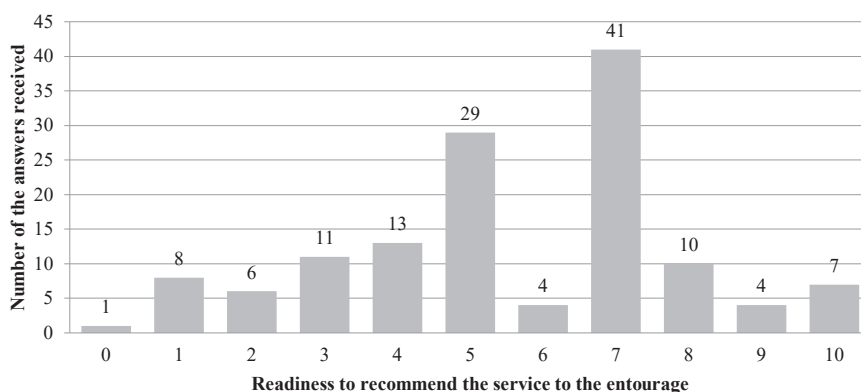
To calculate the value of NPS index, a survey was conducted using Google-form in the global network among individual consignors who transported their goods with RZD-Express groupage cargo service in March–April 2021.

The efficient number of respondents was 134.

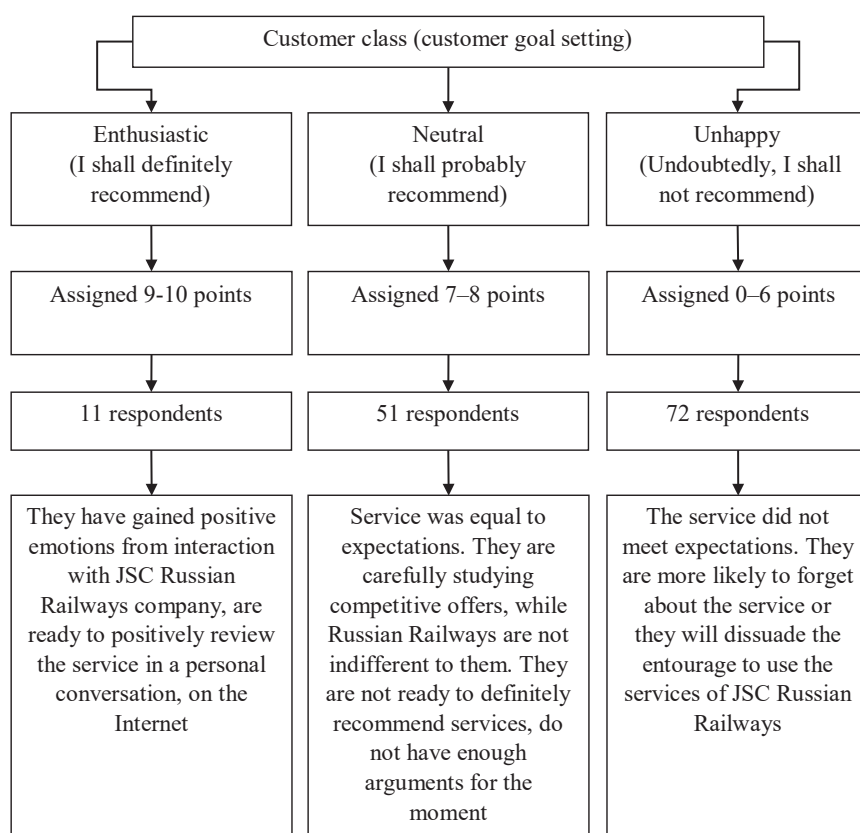
The respondents were asked the following questions:

1. Please evaluate the degree of your readiness to recommend the RZD-Express service to your friends and acquaintances, using a ten-point scale





Pic. 3. The respondents' assessment of the degree of readiness to recommend the RZD-Express service to their entourage (compiled by the author on the basis of a survey).



Pic. 4. Assessment of loyalty of JSC Russian Railways customers who have used the RZD-Express service (compiled by the author based on a survey [3]).

where 0 is the lowest probability of a recommendation, and 10 is the highest probability.

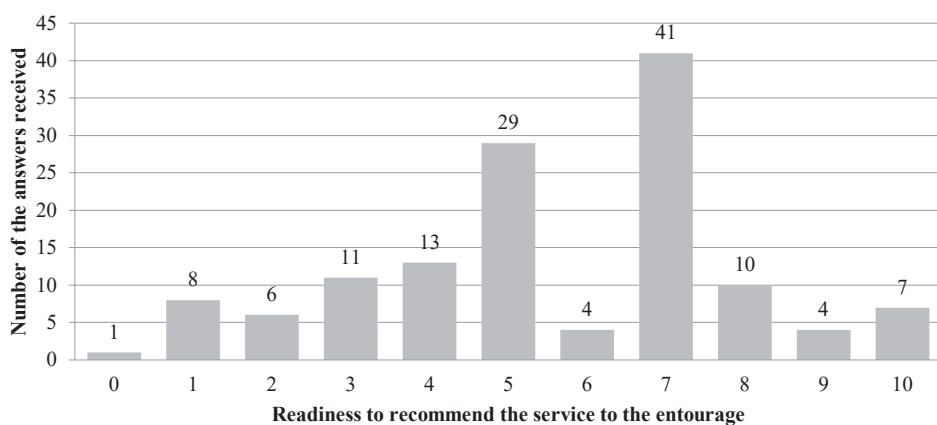
2. Please evaluate, how will the availability of a loyalty program affect your loyalty to the Russian Railways brand, using a ten-point scale where 0 means no impact, 10 means significant impact» [3].

The results of the questionnaire regarding first question are presented in Pic. 3.

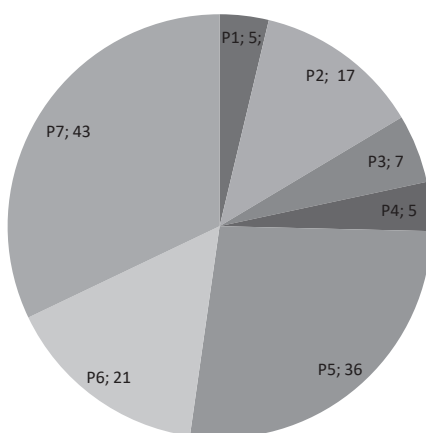
As it can be seen, the answers of the respondents differ markedly. According to the results of the given assessments, the respondents were divided into ten groups.

Upon receiving a point score, clients were assigned one of three classes (Pic. 4) [3].

Using the results of the survey, we determined [3] (considering reservations below) the loyalty index (NPS):



Pic. 5. Assessment of significance of availability for customers of the loyalty program of JSC Russian Railways (compiled by the author based on the survey).



Pic. 6. Reasons that influenced the choice of the RZD-Express service by individual consignors (compiled by the author based on the survey).

$$NPS = d_{ec} - d_{uc},$$

where « d_{ec} – share of enthusiastic customers in the total number of customers, %;

d_{uc} – share of unhappy customers in the total number of customers, %.

Thus, for the RZD-Express service this index will be» [3]:

$$NPS = 8,2 \% - 53,7 \% = -45,5 \% [3].$$

The result regarding the first question has a negative value, but it could not be used to obtain the general assessment of satisfaction of customers considering online form of survey and the sample of respondents based on the voluntary nature of answering the suggested questions. First, the customer sample was not representative. Second, the features of conducting questionnaires based on voluntary samples, and this completely applies to marketing studies in different sectors, implies risks of unproportionable representativeness of persons with long-held opinion either negative, or

positive. This problem is beyond the study described in the paper and presents special study area^{1,2}.

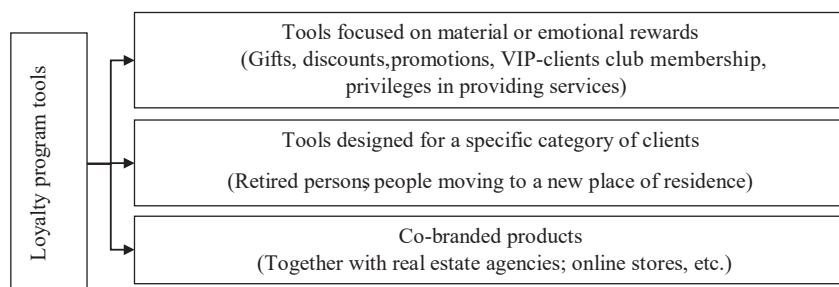
At the same time the obtained data, being insufficient for reliable calculation of NPS, afford ground for assessment of potential attractiveness of loyalty programs for different classes of respondents.

For this purpose, at the next stage the responses to the second question allowed to measure the degree of significance of availability of loyalty program for individual

¹ Please see, e.g.: Glen, Stephanie. Voluntary Response Sample in Statistics: Definition» From StatisticsHowTo.com: Elementary Statistics for the rest of us! [Electronic resource]: <https://www.statisticshowto.com/voluntary-responsesample/>. Last accessed 30.05.2021.

² Please see, e.g.: Online Surveys: Data Collection Advantages & Disadvantages. [Electronic resource]: <https://www.cfrinc.net/cfrblog/online-surveys-advantages-disadvantages>. Last accessed 30.05.2021.





Pic. 7. Groups of tools of a loyalty program developed by cargo carriers (compiled by the author).

consignors within each group using ten-point scale (Pic. 5).

The survey results lead not only to a direct conclusion about segmentation of respondents into three groups based on their level of satisfaction with the service (and, as you can see, the most numerous was the group of those who were unsure of their readiness to recommend the service to their entourage), but also to the conclusion on the presence of a large base of customers who are potentially close to brand loyalty. These include respondents with estimates of 8–6 points, accounting for 41 % of the respondents. The survey has shown that the availability of a loyalty program for customers motivates them to «develop long-term relationships with the company (the average value for these groups is at around eight points)» [4] that confirms that JSC Russian Railways has within this activity «a reserve for building up a permanent customer base, including through a loyalty program» [3].

APPROACHES TO DEVELOPMENT OF LOYALTY PROGRAM

When developing the provisions of a loyalty program, it is advisable to consider similar programs of competing companies for two reasons:

1. For the purpose of benchmarking to further use the best practices to increase the customer focus of JSC Russian Railways.

2. To minimise the likelihood that because of the use of standard marketing tools, the RZD-Express service will lose its uniqueness, becoming a familiar service for the consumer, along with competitors' products.

The loyalty program should be based on the preferences of customers themselves, derived from the motives for choosing the service. To identify them, the respondents were asked a third question. It consisted in request to indicate the reasons for concluding a contract with the

company. The author proposed seven reasons (R1–R7). A single, the main one reason should have been chosen. Descriptive characteristics of the reasons are presented below:

1. Lack of alternative (R1): the consignor believes that JSC Russian Railways has no competitors. In such a situation, there is no need not only to develop consumer loyalty programs, but also, more generally, to identify the customers since the position of a monopolist allows the company not to worry about the attitude of customers.

2. Habit (R2): a stereotyped consumer behaviour that does not speak of either his satisfaction or loyalty, respectively, if there is such a motive, one should not count on an increase in sales.

3. Material savings (R3): the benefit expected by the client, which he receives when using the services of JSC Russian Railways, in that case the client assumes (subjectively or objectively) that the company's services are cheaper than similar services provided by competitors.

4. Prestige (R4): a feeling of satisfaction, pride, and self-importance when contacting JSC Russian Railways. In situations where this motive takes place, it is possible to be sure that the client will re-purchase the company's services.

5. Trust (R5): confidence in professional skills of personnel capable of providing services of the required quality.

6. Randomness (R6): «the consignor contacted the company spontaneously (for example, while on a business trip, being in the immediate vicinity of the company's office, etc.)» [4].

7. Quality of service (R7): this indicator may include «various characteristics of a service: usefulness, waiting time, comfort, etc.» [3].

The question was answered by the same 134 respondents mentioned above who used the



Pic. 8. Screenshots of the RZD-Express service pages on the Internet.

RZD-Express service. The results (considering reservations above) are shown in Pic. 6.

Previously, main results were published in [4]. According to them, «the largest number of respondents considered quality (R7) as the main reason why they had chosen JSC Russian Railways as a carrier for transportation of groupage cargo. It is interesting to note that after the service had been provided, many of the customers were not ready to recommend the service to their entourage due to the feeling that expectations that had not been fully met. This reason should be taken into account when developing a loyalty program (more details on assessing quality of a service from the perspective of customer focus were given in the author's previous publications [1–4]). Highly qualified staff (R5) is ranked as second popular reason for respondents. Leveraging this fact to intelligently set the focus of the loyalty program will invariably help to expand the customer base» [4].

Let us remind that «besides favourable ones, some of the reasons for the choice have a neutral connotation including implementation of a choice due to the lack of (in consignor's opinion) alternatives (R1), habit (R2), randomness (R6). In addition, the reasons why only a small part of respondents are confident in the existence of material savings when buying a service (R3) and in its prestige (R4) should be subjected to detailed analysis. The inversion of consumer attitudes through the tools of the loyalty program will help to neutralise the influence of risks or of potentially negative facts» [4].

«Five respondents opted for the service due to the lack of an alternative (R1), being convinced that JSC Russian Railways has no competitors. It should be borne in mind that such a choice can be easily changed under the influence of random factors, for example, aggressive advertising of competitors. At the same time, the existence of this reason, as a motive for consumer choice, can be used by JSC Russian Railways to strengthen long-term relations with the consumer through the tools of the loyalty program, by supporting the customer's vision of the company as of the largest market actor capable (thanks to the scale effect) to provide a wide range of customers with real, not nominal, discounts» [4]. «The choice of 17 respondents was made under the influence of habit (R2), which also indicates the inert attitude of the consumer. Thanks to the loyalty program, a positive impetus can be created, transforming a habit into a conscious loyalty to the brand, through accumulation of discounts, bonuses, membership in a privilege club, etc.» [4].

«The perception of corporate pricing policy by customers as of uncompetitive also affects the company's image destructively. Only 7 out of 134 respondents believe that making a choice in favour of RZD-Express helps money saving (R3). A loyalty program can be here an excellent tool since the customer thanks to bonus points, discounts, promotions, forms a favourable attitude regarding the cost of the service» [4].

Typical marketing tools that can form the basis of a loyalty program can be classified into three main groups (Pic. 7).



It is generally accepted to categorise the client audience in terms of financial position:

- Highly solvent (they prefer purchasing turnkey services, maintaining the status).
- Low paying (they prefer to save on price).
- Clients with an average paying capacity (they prefer to weigh material and non-material parameters).

CONCLUSIONS

The growth in proceeds from sales of the RZD-Express service to individual consignors will correspond to how precise the adjustment of the loyalty program tools will be in accordance with customer requests. Before large-scale implementation of the program in the company's activities, it is advisable to diagnose its effectiveness in focus groups, and then to analyse and evaluate the results (according to Table 1) to adjust the composition of marketing tools. In the long term, a positive consequence of using a loyalty program is not only an increase in the cost component, but also a decrease in consumers' sensitivity to higher prices for services.

REFERENCES

1. Yusupova, O. A. Analysis of Quality of Service Provided to Private Consignors. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 2 (87), pp. 214–224. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-214-224>.
2. Yusupova, O. A. Analysis of Quality of a Carrier's Website to Increase Loyalty of Individual Customers. *World of Transport and Transportation*, 2020, Vol. 18, Iss. 5 (90), pp. 140–151. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-140-151>.
3. Yusupova, O. A. Methodological aspects of the analysis and assessment of customer loyalty to improve the quality of transport services for shippers-individuals. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*, 2021, Iss. 4, pp. 141–153. DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-6435-2021-4-141-153>.
4. Yusupova, O. A. On the Formation of the Loyalty Program of a Transport and Logistics Company [O formirovaniy programmy loylnosti transportno-logisticheskoy kompanii]. *Zheleznodoroznyi transport*, 2021, Iss. 9, pp. 20–25. [Electronic resource, charged access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46558192>.
5. Vilkaitė-Vaitonė, Neringa & Papšienė, Palmira. Influence of Customer Loyalty Program on Organizational Performance: a Case of Airline Industry. *Engineering Economics*, 2016, Vol. 27, Iss. 1, pp. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.5755/jol.ee.27.1.10267>.
6. Hossain, M. Z., Kibria, H., Farhana, S. Do Customer Loyalty Programs Really Work in Airlines Business? – A Study on Air Berlin. *Journal of Service Science and Management*, 2017, Vol. 10, No. 4, pp. 360–375. DOI: <https://doi.org/10.4236/jssm.2017.104029>.
7. Kautsiro, F., Awolusi, O. D. Loyalty programs for the passenger transportation industry: a study of Zimbabwean Companies. *Journal of Education and Vocational Research*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 5–22. DOI: [https://doi.org/10.22610/jevr.v11i1\(V\).3068](https://doi.org/10.22610/jevr.v11i1(V).3068).
8. Qian, Ma; Jianwei, Huang; Tamer, Başar; Ji, Liu; Xudong, Chen. Reputation and Pricing Dynamics in Online Markets. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2021, Vol. 29, Iss. 2, pp. 949–963. [Electronic resource]: <https://arxiv.org/pdf/2103.16100.pdf>. Last accessed 10.09.2021.
9. Bundy, J., Iqbal, F., Pfarrer, M. Reputations in Flux: How a Firm Defends Its Multiple Reputations in Response to Different Violations. *Strategic Management Journal*, 2021, Vol. 42, Iss. 5, pp. 1–15. DOI: 10.1002/smj.3276.
10. El-Ansary, A., Pahnatier, R., Sivasdas, E., Stern, E. Omni-Channel Strategy. *Marketing Channel Strategy*, 2019, Vol. 53, Iss. 7, pp. 345–362. DOI: 10.4324/9780429291999-11.
11. Korsakova, T. V., Chelnokova, E. A., Kaznacheeva, S. N., Bicheva, I. B., Lazutina, A. L., Perova, T. V. Transformation of Corporate Culture in Conditions of Transition to Knowledge Economics. *International Journal of Environmental and Science Education*, 2016, Vol. 11, Iss. 11, pp. 4690–4698. [Electronic resource]: <http://www.ijese.net/makale/653.html>. Last accessed 10.09.2021.
12. Megargel, A., Shankaraman, V., Reddy, S. K. Real-Time Inbound Marketing: A Use Case for Digital Banking. *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion*. Vol. 1: Cryptocurrency, FinTech, InsurTech, and Regulation. San Diego, CA, Academic Press, 2017, pp. 311–328. DOI: 10.1016/B978-0-12-810441-5.00013-0.
13. Reichheld, F. The One Number You Need to Grow. *Harvard Business Review*, 2003, Vol. 81, Iss. 12, pp. 46–54, 124. [Electronic resource]: <https://hbr.org/2003/12/the-one-number-you-need-to-grow>. Last accessed 10.09.2021.
14. Barnes, D. G. The way to the heart of the client. Relationship strategy when loyalty is low [Put' k serdtsu klienta. Strategiya otnosheniy, kogda loylnosti malo]. Moscow, Yurayt publ., 2009, 242 p.
15. VanAuken, Brad. Brand Aid [Brend-pomoshch]. Transl. from English by P. Malkova, ed. by V. Domnin. St. Petersburg, Piter publ., 2005, 336 p. (Series «Marketing for Professionals»).
16. Drucker, P. F. [Russian title] Effective management. Economic tasks and optimal solutions [Effektivnoe upravlenie. Ekonomicheskie zadachi i optimalnye resheniya]. Moscow, Fair-Press publ., 1998, pp. 126–132.
17. Dymshits, M. N. Consumer loyalty: mechanisms of re-purchase [Potrebitelskaya loylnost': mekhanizmy povtorno pokupki]. Moscow, Vershina publ., 2007, 200 p.
18. Colasse, Bernard. Gestion financière de l'entreprise: Problématique, concepts et méthodes [Russian title: Upravlenie finansovoi deyatel'nostyu predpriyatiya: problemy, kontseptsii i metody]. Transl. from French; ed. by Ya. V. Sokolov. Moscow, Finance: UNITI, 1997, 576 p.
19. Skuba, R. V. Strategies for managing loyalty and profitability of clients of a regional commercial organization [Strategii upravleniya loylnostyu i pribyl'nostyu klientov regionalnoi kommercheskoi organizatsii]. *Moscow Economic Journal*, 2020, Iss. 7, p. 46. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10504.
20. O'Shaughnessy, J. O. Competitive marketing: a strategic approach [Konkurentniy marketing: strategicheskyy podkhod]. Transl. from English. St. Petersburg, Piter publ., 2001, 864 p. ●

Information about the author:

Yusupova, Olga A., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Finance and Credit of Russian University of Transport, qwerty6020@mail.ru.

Article received 05.07.2021, approved after reviewing 12.09.2021, accepted 15.10.2021.



Low-Cost Long-Distance Passenger Train Model



Pavel S. Troitsky

Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia.
✉ paveltroickiy@mail.ru

Pavel S. TROITSKY

ABSTRACT

The introduction of low-cost long-distance passenger trains will improve transport availability, expand the geography of routes, increase train departure frequency, resulting thus in growth of passenger turnover and carriers' incomes.

From the standpoint of national economy, the emergence of trains of that kind will contribute to better transport mobility of population, labour market balance, tourist attractiveness of the country and its regions, to increase in GDP thanks to multiplicative effect.

As a result of active implementation of state support measures for development of regional aviation, construction of high-speed highways, introduction of car sharing services, in recent years there has been a significant increase in competition in the long-distance passenger transportation market.

Each segment of this market requires meeting the needs and expectations of a certain type of customer, reflecting the age, education, type of activity, income, physical condition of a passenger.

The competitiveness of a particular type of transportation in the modern world, is based, first, on the widespread growth in the value of time as of a significant resource of human life, and consequently in speed of movement along all the route (from door to door) since life expectancy, in addition to extensive factors (high-tech healthcare, healthy nutrition, etc.) evolves at the expense of intensive factors also which certainly include the saving of time for movement.

The objective of this article is to describe the business model of a low-cost long-distance railway passenger carrier, to analyse technical, technological, organizational factors that form the model using the methods of economic analysis, observation, and comparison. It is concluded that key conditions for functioning of the model of a low-cost long-distance passenger carrier comprise among others operation of modern energy-efficient rolling stock, flexibility and promptness in development of the route network, identification of the travel frequency and the composition of low-cost trains.

Keywords: passenger transportation, low-cost transportation, low-cost carriers, railway passenger complex.

For citation: Troitsky, P. S. Low-Cost Long-Distance Passenger Train Model. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 173–177. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-5>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Expansion of the product line, provision of multimodality and a significant increase in the route speed of transportation should serve as a strategic guideline for railway passenger carriers. To the greatest extent, these characteristics are now inherent in road transport due to its autonomy, flexibility, and geographic spatial distribution [1].

Nevertheless, long-distance trains have some undoubted advantages in comparison with road and air transport:

- Transportation safety.
- Respect of the timetable exceeding 98 %¹.
- More comfortable conditions for accommodating passengers in the coach.
- Combination of travel with rest at night (train-hotel).
- Almost complete independence of transportation from weather conditions [2].
- Developed route network.
- Free transportation of children under the age of five.
- High allowable rates of carry-on baggage.
- Location of embarkation and disembarkation stations in city centres.
- Environmental friendliness of railway transport [3].

In addition, railway passenger traffic is of high social and strategic importance for the state, including in regions with extreme natural and climatic conditions lacking road and aviation infrastructure [4].

Currently, business models of Russian railway carriers in long-distance passenger travel are focused mainly on providing a standard, established complex of transportation services in the railway industry. Thus, the structure of the car fleet of JSC FPC, the main railway long-distance passenger carrier of the Russian Federation, is made up mainly of coaches with berths, which have a significantly higher cost per passenger seat, and the operation of which at distances from 200 to 600 km is unprofitable, which leads to the loss of the corresponding short-distance passenger market in favour of road (bus) transport. According to 2020 annual report of JSC FPC, its car fleet composed of 16596 coaches, of which only 637 were interregional ones¹. It is worth noting that competition

between modes of transport does not result by itself in increase in efficiency of activity of each mode of transport since when competition is growing it often implies the problem of public subsidies to even the conditions of transportation (e.g., to align difference in infrastructure fees) [5].

It is then relevant to search for new product models that might raise the competitiveness of rail transport in the segments of transportation market that meet high demand of customers. Low-cost transportation in long-distance trains can be among those product models. Civil aviation widely uses such practices, and we can witness now practical steps in some countries to implement such projects in rail sector.

The first ever low-cost flight of Pacific Southwest Airlines took place on May 6, 1947. Over the past ten years, more than 100 new airlines have emerged globally that have started flights using low-cost technology. Many classic airlines started focusing on this segment, and the share of air passengers traveling with low-cost airlines has grown from 13 % to 29 % in the global passenger traffic².

In the railway industry, the low-cost business model has remained not very popular until recently. The most striking examples of low-cost railway carriers are the Czech Regio Jet³, Leo Express⁴, the Spanish high-speed trains Avlo of the national operator Renfe, and the project of Ouigo, a subsidiary of the French SNCF⁵. The later case has been studied by researchers [6]. We can also cite the example of the low-cost transportation project is called Izy⁶ implemented by high-speed rail company Thalys (it is easy to note that it sounds in English like the word «easy»). Arthur D. Little company has

² What is a low-cost airline? [Electronic resource]: <https://tripmydream.com/media/layfhak/loukost-perelety-vse-minusy-i-plyusy>. Last accessed 15.10.2021.

³ See, e.g., the website of Regiojet company. [Electronic resource]: <https://www.regiojet.com/services/services-onboard-of-trains/low-cost.html>. Last accessed 15.09.2021.

⁴ Railway transportation – the largest companies. [Electronic resource]: <https://www.oborudunion.ru/largest/jeleznodoroga-uslugi>. Last accessed 15.10.2021.

⁵ Renfe has launched low-cost Avlo trains between Madrid and Barcelona. [Electronic resource]: <https://zdmira.com/news/renfe-zapustil-byudzhetnye-poezda-avlo-mezhdu-madridom-i-barcelonoj>. Last accessed 15.10.2021.

⁶ Please see, e.g., information on the website of international unit of Belgian national rail company (SNCB International). [Electronic resource]: <https://www.b-europe.com/EN/Trains/IZY>. Last accessed 15.09.2021.

¹ Annual report of JSC FPC. 2020. [Electronic resource]: <https://fpc.ru/api/media/resources/1735779?action=download>. Last accessed 15.10.2021.

recently made a study on existing practices and development prospects for long-haul low-cost trains focusing on high-speed rail⁷.

The peculiarity of all the listed trains is that they have seating coaches, which allows to use most of the car interior space to accommodate seats, while the carry-on luggage allowance included in the price allows carrying no more than 1 unit of luggage per person.

Considering the promising character of the issue, the main *objective* of the research is to study the possibility and to analyse parameters of introduction of a new product offer which is low-cost long-distance passenger trains on the network Russian Railways. The study applied methods of comparative and economic analysis, content analysis of technical information.

RESULTS

Michael Porter, a leading expert in the study of economic competition, identifies three strategies for developing a company's competitive advantage, depending on the degree of market breadth:

- Low cost (cost leadership) strategy.
- Differentiated strategy (creation of a product with unique characteristics).
- Focus strategy (obtaining a competitive advantage in a narrow market segment) [7].

In our opinion, the offer of low-cost passenger trains should combine the advantages of all three strategies. The distinguishing features of a low-cost train comprise low cost of transportation, a fixed and clearly recognisable set of consumer characteristics, focus on a defined segment of passengers, namely on passengers with a minimum amount of baggage, without requesting additional services, the main goal of whom is to move between points of departure and destination with minimal financial costs and considering allowable time constraints.

The formation of competitive advantages of the transportation service in the transport market occurs as a result of interaction of the elements of the chain: the carrier – the owner of the infrastructure. The quality of the transportation process is within the area of responsibility of the owner of the infrastructure (JSC Russian Railways in Russia), the quality of transport

services is within the area of responsibility of the carrier company [8].

Let's form a group of factors that make up the business model of a low-cost-carrier:

1. *Group of technical factors (TECH)*: technical characteristics of traction and non-traction rolling stock, coach interior, specific energy consumption per passenger seat.

2. *Group of technological factors (TECHN)*: time of departure and arrival, route speed of the train, location of stations of departure and arrival.

3. *Group of organizational factors (ORG)*: tariff setting (pricing), labour productivity of the train crew, additional service on board the train.

Thus, the target function of the low-cost carrier is:

$TECH + TECHN + ORG = \text{Cost of 1 passenger seat} \rightarrow \min.$

TECHNICAL FACTORS

The group of technical factors includes the following activities:

1. The use of coaches with increased passenger capacity, primarily double-deck seating coaches, as well as capsule coaches [9].

2. Unification of the car fleet of low-cost-trains that means the use of coaches of the same model range with a single colour-graphic design, internal equipment, and design for the most efficient interchangeability of rolling stock during periods of maintenance, repair, emergency situations. The age of the low-cost train car fleet should not exceed 10 years to minimise repair costs.

3. Implementation of traction by dual-system and hybrid locomotives with increased service runs to reduce the cost of initial and final operations and unproductive downtime at intermediate stations [10; 11]. It is also possible to operate electric trains, including double-decker coaches [12].

4. The use of energy-saving equipment in traction and non-traction rolling stock: LED lighting, automatic individual climate control systems in a compartment, energy recovery and storage (electrodynamic braking with energy storage unit in each coach, piezoelectric inter-coach walkway and floors) [13].

5. Decrease in the tare ratio of coaches and thus of the mass of the train due to the use of composite materials in coach bodies, elimination of heavy coach equipment, in particular, of water heating systems, generators.

⁷ Hensler, A., Zintel, M., Baron, R. The low-cost puzzle for long-haul trains. Arthur D. Little Luxembourg S. A. 2019. [Electronic resource]: https://www.adlittle.ru/sites/default/files/viewpoints/adl_low_cost_trains-min_0.pdf. Last accessed 15.09.2021.



6. The use of modern shock-absorbing devices, backlash-free automatic couplings, disc brake systems to reduce oscillatory processes and energy dissipation during the movement of the train [14].

TECHNOLOGICAL FACTORS

The group of technological factors comprise:

1. Increasing the productivity of coaches by minimising downtime at the train initial departure and round-trip start points. Namely it concerns organisation of high-frequency routes with the use of transformer coaches, operated at night as sleeping cars and, in the daytime, as sitting coaches.

2. Optimisation of the route network with focus on short and medium route distances to serve the most densely populated regions of the country. Since transportation tariffs for most types of transport are based on the principle of reducing the unit cost of 1 passenger-km with an increase in the travel distance, this makes the operation of low-cost trains on long-distance routes unprofitable due to the initially minimal base tariff. Therefore, the operating range of low-cost trains should count up to 2000 km through the territory of the most densely populated Russian Central, South, North Caucasian, Volga Federal Districts and St. Petersburg agglomeration.

3. Saving station and infrastructure costs: initial and final operations should be conducted at lightly loaded passenger stations (for example, in Moscow agglomeration departure and arrival can be organised at Khimki, Zelenograd stations, Vostochny TIH, Domodedovo, etc.). Meanwhile it should be provided that the train stops at all the major stations of large agglomerations to maximise passenger traffic. The departure time of low-cost-trains should be beyond the main train flow to get the cheapest schedule line [15, p. 129].

ORGANISATIONAL FACTORS

The group of organisational factors comprise activity that follows:

1. Traditional types of services on board should be denied. First, there will be no dining cars, showers, various kinds of equipment (reusable dishes, sanitary and hygienic sets, bed linen, etc.) in the low-cost trains, which will speed up and reduce the cost of equipment and cleaning of such trains before the journey.

2. Maximum differentiation of tariffs⁸. In particular, a set of decreasing coefficients can be applied as compared to the base tariff for places at the top, additionally for the upper places of the second floor of a double-decker car, for the outermost compartments, and a multiplying coefficient can be used for the compartments located in the middle of the sleeping car. For sitting coaches there can be a paid option to choose a seat in the coach. To maintain flexibility in planning the route network, ticket sales should start no earlier than 90 days before departure. There should be large-scale use of dynamic pricing and almost 100 % sale of seats at non-refundable rates, sale of multiple journey tickets, both for certain routes and distances (for example, up to 300, up to 600 km).

Additional paid options on low-cost trains may include:

- Paper ticket issuance.
- Transportation of baggage exceeding the minimum allowance.
- Changes in ticket details and its return.

3. Increased labour productivity of the train crew due to the increase in the number of coaches serviced by one conductor or guide with a minimum set of services on the train.

4. Receiving additional income from sale of advertising space on trains, including on the sides of cars.

It is worth noting that several activities of one group of factors can produce the ability to implement activities of another and vice versa. For example, with a reduction in the number of unproductive train stops, an increase in route speed due to the use of dual-system locomotives, it is possible to reduce the number of members of the crew accompanying the train. Station employees can check tickets of passengers boarding the train.

CONCLUSION

Contrary to the opinion that low-cost railway passenger transportation should use old cars and coaches preparing for write-off, following additional schedule lines with a low route speed, the real key parameters of success of functioning of a low-cost model include flexibility and promptness in appointment and assembly of those trains, operation of trains consisting of

⁸ Please see, e.g., Matyushin, L. N. Tariff policy in the railway transport of Russia: Study guide. Moscow, FSBE APE «Training and methodological center for education in railway transport», 2021, 208 p. ISBN 978-5-907206-80-9.

modern, energy-efficient, low-weighted cars, requiring low equipment and maintenance costs.

Considering the seasonality factor of transportation, low-cost-trains should be assigned only to highly loaded routes with a potentially constant demand for transportation. It is worth emphasising that the key service regarding a low-cost train is transportation of passengers with a minimum set of additional services, therefore, the main competitive advantage relative to other modes of transport is the comparable speed of passenger travelling.

REFERENCES

1. Lapidus, B. M. The future of transport. World Trends Projected onto Russia: Monograph [*Budushchee transporta. Mirovie trendy s proektsieei na Rossiyu: Monografiya*]. Moscow, Prometheus publ., 2020, 226 p. ISBN 978-5-907224-52-8.

2. Gashnikova, E. L. Methods for formation of competitive advantages in the non-traction rolling stock maintenance and repair market [*Metody formirovaniya konkurentnykh preimushchestv na rynke remonta netyagovogo podvizhnogo sostava*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2021, Iss. 5, pp. 65–71. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45764258>. Last accessed 15.09.2021.

3. Ways to improve the environmental performance of railways [*Puti uluchsheniya ekologicheskikh pokazatelei zheleznykh dorog*]. *Zheleznie dorogi mira*, 2020, Iss. 1, pp. 56–60. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565405>. Last accessed 15.09.2021.

4. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Macroeconomic role of railway transport: Theoretical foundations, historical trends and a look into the future [*Makroekonomicheskaya rol' zheleznodorozhnogo transporta: Teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendentsii i vzglyad v budushchee*]. Moscow, Krasand publ., 2014, 234 p. ISBN 978-5-396-00528-0.

5. Guriev, A. Out of the dead end: the history of a reform [*Iz tupika: istoriya odnoi reformy*]. St. Petersburg, RZD-Partner publ., 2008, 800 p. [Electronic resource]: <http://gurievandrey.narod.ru/artikals/Pages1.pdf>. Last accessed 15.09.2021.

6. Delaplace, M., Dobruszkes, F. From low-cost airlines to low-cost high-speed trains: the French case. 18th ATRS World Conference (July 2014) at Bordeaux. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/264458977_From_low-cost_airlines_to_low-cost_high-speed_trains_the_French_case/link/53e07a2c0cf27a7b830a40e0/download. Last accessed 15.09.2021.

7. Porter, M. E. Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors. Transl. from English. Moscow, Alpina Business Books, 2015, 600 p. ISBN 978-5-9614-6306-4.

8. Lapidus, B. M., Lapidus, L. Formation of a seamless transport system – a new paradigm of open railway transport in the context of digital transformation [*Formirovaniye besshovnoi transportnoi sistemy – novaya paradigm otkrytogo zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh tsifrovoy transformatsii*]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2018, Iss. 1, pp. 79–88. [Electronic resource]: <http://lari-salapidus.ru/wp-content/uploads/2020/04/Statya-formirovaniye-besshovnoj-transportnoj-sistemy.pdf>. Last accessed 15.09.2021.

9. Troitsky, P. S. Introduction of the Latest Railway Technology based on Intersectoral Cooperation. *World of Transport and Transportation*, 2020, Iss. 18 (4), pp. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-188-198>.

10. Miroshnichenko, O. F., Oginskaya, A. E. Variant assessment of the consequences of the transfer of the fleet of passenger locomotives to JSC FPC [*Variantnaya otsenka posledstviy peredachi parka passazhirskikh lokomotivov v OAO «FPC»*]. Actual problems of the economy of railway transport and ways to solve them. Proceedings of works of scientists of JSC VNIIZhT. Ed. by O. F. Miroshnichenko. Moscow, VMG-Print publ., 2014, pp. 237–247.

11. Akishin, A. A., Brexon, V. V., Vinogradova, O. V., Kuchumov, V. A., Mironov, N. D., Nikiforova, N. B. Estimation of the cost of the life cycle of an electric locomotive «online» [*Otsenka stoimosti zhiznennogo tsikla elektrovoza «onlain»*]. *Bulletin of Scientific Research Institute of Railway Transport (Bulletin of VNIIZhT)*, 2019, Iss. 78 (4), pp. 195–202. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-195-202>.

12. Scientific support for development of high-speed lines in Russia [*Nauchnoe soprovozhdenie razvitiya vysokoskorostnykh magistralei v Rossii*]. Team of authors; ed. by A. B. Kosarev, O. N. Nazarov. Moscow, RAS publ., 2018, 119 p. ISBN 978-5-6040530-6-5.

13. Gapanovich, V. A., Avilov, V. D., Arzhannikov, B. A. [et al]. Energy saving in railway transport: Textbook for universities [*Energosberezhenie na zheleznodorozhnom transporte: Uchebnik dlya vuzov*]. Ed. by V. A. Gapanovich. Moscow, publ. house MISiS, 2012, 620 p. [Electronic resource]: http://www.rzd-expo.ru/innovation/resource_saving/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%BE%D1%822.08.12.pdf. Last accessed 15.09.2021.

14. Boronenko, Yu. P., Komarova, A. N., Romen, Yu. S. Influence of car vibrations on energy consumption for train traction [*Vliyanie kolebaniy vagonov na energozatraty na tyagu poezda*]. *Bulletin of scientific research results*, 2016, Iss. 1 (18), pp. 18–29. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kolebaniy-vagonov-na-energozraty-na-tyagu-poezda>. Last accessed 15.09.2021.

15. Shenfeld, K. P., Sotnikov, E. A. Development of management methods for the transportation process in railway transport in modern conditions [*Razvitie metodov upravleniya perevoznym protsessom na zheleznodorozhnom transporte v sovremennykh usloviyakh*]. Moscow, Nauchnyy mir publ., 2015, 200 p. ISBN 978-5-91522-421-5. ●

Information about the author:

Troitsky, Pavel S., Technical Expert of Scientific Centre for Digital Models of Transportation and Energy Saving (NC DMTE) of Railway Research Institute (JSC VNIIZhT), Moscow, Russia, paveltroitskiy@mail.ru.

Article received 27.05.2021, approved after reviewing 15.09.2021, updated 22.10.2021, accepted 25.10.2021.





The Impact of the Transport Industry on the Economic and Technological Capacity of the Territories



Natalia V. Guskina

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ n.guskina@yandex.ru

Natalia V. GUSKINA

ABSTRACT

The activities of economic entities operating in a specific territory depends to the highest degree on the action of transport factors comprising the existing economic links and resource provision of those territories. At the same time, it is necessary to highlight a special role of the economic and technological capacity in sustenance of the territorial economy. The economic and technological capacity is an indicator of its material basis as well as of the success of development of the material and innovative base of a particular territory.

At the same time there exists a certain cognitive gap in understanding the impact of transport infrastructure on the potential of the territory that makes relevant the continuation of the research to theoretically understand that impact.

The objective of this work is to theoretically substantiate the influence of the transport industry on the activities of economic entities of the territories considering the economic and technological capacity of a territory.

The integrated approach and empirical and theoretical method used in the work have allowed to conduct the research based on aggregated characteristics of transport industry and open statistical

data and to describe the impact there-of on the economic and technological capacity of a territory.

To achieve comparable results within the framework of the single national economic and transport system that helps to level the influence of country's specific features, the analysis referred to the main indices of the activity of territorial districts of the Russian Federation including rates of development of the transport system, general dynamics of the changes in the length of routes and roads and the role of investment in the activity of the transport industry.

Results and prospects of the activity of the transport industry were determined regarding territorial interactions of economic entities.

The suggested approach to the analysis of the relationship between economic and technological capacity of the territories and transport systems is offered as a basis for further research since being sufficiently universal and once further developed and adapted to relevant conditions it can be decomposed or scaled up regarding study of smaller territorial entities or, on the contrary, of selected countries.

Keywords: transport, economic and technological capacity, territories, innovations, business entities, cargo turnover, investments, technologies.

For citation: Guskina, N. V. The Impact of the Transport Industry on the Economic and Technological Capacity of the Territories. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 178–184. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Regardless multitude of publications¹ and highly elaborated issues of regional², territorial³, urban⁴ development comprising its social, economic [1], scientific and technological⁵, and transportation aspects, scientific sources miss single approach to definition of the essential of the nature of economic and technological capacity of the territory and of its interrelationship with transport industry.

In a global sense, a definition of economic and technological capacity or potential of a territory can be formulated as a complex ability to attract obvious and latent resources to supply entities and population of the territory to increase productivity focused on obtaining utilities that correspond to the current demand. Consequently, if «the scale of the economic and technological potential is determined through the volume and quality of the resources available to the economic entity, as well as through its ability to use them effectively» [2], then in case of a territory it is worth saying about the volume, quality, and efficiency of the use of resources by the totality of economic entities.

In his earlier work, the author clarified the elementary nature of the economic and technological potential, which «is characterised not only by resource opportunities, but also by spatial identity, population density and quality of life of the population, remoteness from large cities, positioning within financial and economic

segment, transport links, and the production and industrial level in the territory» [3].

But when carrying out further theoretical research, it became necessary to consider all the elements of the economic and technological capacity with reference to the territorial heterogeneity and geographical distribution of the resources, system of transportation links, and other problems related to those complex factors.

The *objective* of the presented individual study is to theoretically substantiate the influence of the transport industry on the activities of economic entities of the territories considering the economic and technological capacity of a territory.

The study used *integrated approach* and *empirical and theoretical method* that allow to conduct the research based on aggregated characteristics of transport industry and open statistical data and to describe the impact thereof on the economic and technological capacity of a territory. To level heterogeneity of social and economic conditions, the subjects of the study were associated with federal districts, federal entities of the Russian Federation, transport system of the Russian Federation and transport systems of federal entities of the Russian Federation.

RESULTS

Key Economic Performance Indicators of Federal Districts of the Russian Federation

The topographic differentiation of the Russian Federation determines the mixed nature of economic space, which entails the problem of sustainable development of the economic and technological capacity of the territories and fragmentation of the magnitude of all indicators of progressiveness of an agglomeration in relation to another one.

According to the data of the Federal State Statistics Service, such fragmentation can be observed from the aggregate index of industrial production between the constituent federal entities of the Russian Federation by types of economic activity, taken in aggregate (Table 1).

The dynamics of the industrial production index is rather scattered and the gap between some federal districts in January 2021 reached more than 10 %. The upward trend in indicators during the same time lapse in the Central Federal District in 2021 relative to indicators in 2019 was of 8,9 %. At the same time, there was a general

¹ The examples quoted below are singled-out out of immense mass of scientific and research papers, projects and reports only to illustrate multifaceted nature of existing approaches.

² A selection of ENPI CBCMED Projects. People cooperating across borders. Mediterranean Stories, 2014. [Electronic resource]: http://www.enpicbmed.eu/sites/default/files/mediterranean_stories_economic_growth_and_territorial_development_0.pdf. Last accessed 27.03.2021.

³ Iammarino, S., Rodríguez-Pose, A., Storper, M. Why Regional Development matters for Europe's Economic Future. Working Papers, A series of short papers on regional research and indicators produced by the Directorate-General for Regional and Urban Policy WP 07/2017. European Union, 2017. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/201707_regional_development_matters.pdf. Last accessed 27.03.2021.

⁴ Investment for jobs and growth. Promoting development and good governance in EU regions and cities. Sixth report on economic, social and territorial cohesion. European Commission, 2014. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/reports/cohesion6/6cr_en.pdf. Last accessed 27.03.2021.

⁵ KIT – Knowledge, Innovation, Territory. [Electronic resource]: <https://www.espon.eu/kite>. Last accessed 27.03.2021.



Table 1

Industrial production index referring to the corresponding month of 2019, %*

	2019	2020	to January	2021	to January
	January	January	2019	January	2019
Russian Federation	102,7	101,2	-1,5	98,1	-4,6
Central Federal District	100,4	106,1	+5,7	109,3	+8,9
North-Western Federal District	103,3	101,4	-1,9	99,5	-3,8
Southern Federal District	103,8	100,8	-3	103,3	-0,5
Privolzhsky Federal District	100,7	101,0	+0,3	100,1	-0,6
Ural Federal District	108,1	103,4	-4,7	97,6	-10,5
Siberian Federal District	104,8	95,8	-9	97,9	-6,9
Far Eastern Federal District	97,9	102,0	+4,1	95,4	-2,5

* Industrial production index. Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial?print=1. Last accessed 27.03.2021.

decline during the same time lapse in the rest of the federal districts, that resulted in a negative impact on the overall result for the Russian Federation in January 2021 by 4,6 % less than in 2019.

It is necessary to make an important reservation since the results of 2021 were not typical as compared to 2019 due to the general impact of pandemic situation, which was characteristic of all world countries, and were used to demonstrate only the differences in dynamics of industrial production indices of federal districts.

So, «the volume of GDP of Russia in 2020, according to first estimations, attained 106 606,6 billion roubles at current prices. The index of GDP in physical figures was of 96,9 % as compared to 2019. GDP price deflator index in 2020 was of 100,7 % as compared to 2019 prices»⁶.

It is necessary to note that decrease in GDP as compared to 2019 was expected due to reduced world demand on energy resources and introduction of restrictive measures following pandemics.

The possibility of maintaining stability of advanced positioning of the Central Federal District in this system of indicators can be explained through the fact that it is a focus point of cooperation and of introduction of innovative technologies, which, of course, implies both economic benefits and certain risks. However, it is in it that federal district that «the production of goods and services is concentrated to a greater extent, pulling together the financial and labour resources of the other territories. These processes

are becoming more and more stable» [4], that leads to a decrease in development opportunities of individual federal districts and in the effective use of their resources.

Impact of the Transport System on the Connectivity of the Territories and Implementation of the Economic and Technological Potential

Ensuring sustainable development of territorial entities is the central point of the modern policy of the Russian Federation.

The central role is played by connectivity among country's territories, which «can be ensured through modernisation of the country's transport system» [5]. In doing so, the most «widespread method of analysing the impact of infrastructure on economic dynamics is the apparatus of production functions, with the help of which it is possible to directly measure the return on output from infrastructure capital» [6], which leads to the need for constant analysis of the activities of the transport industry, as well as for updating of the restructuring of transport infrastructure, aimed at maintaining functioning of economic entities.

The process of production and consumption of transportation products is inseparable in time and space and requires the introduction of innovations, which in turn exist due to financial and intellectual investments. The economic and technological potential of a territory in this context is the result of the interrelation of the productive forces of economic entities and transport companies.

Each business entity seeks to extract «the maximum economic benefit, expressed in profit by providing a high-quality product at competitive prices» [7]. At the same time, significant place belongs to the transport infrastructure and its

⁶ On the production and use of gross domestic product (GDP), 2020. Federal State Statistics Service [Electronic resource]: https://gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d02/18.htm. Last accessed 30.03.2021.

influence on all the processes of balanced development of the economic and technological potential of a territory since it guarantees fundamental conditions for the successful functioning of an economic entity.

The totality of factors comprising material and technical basis, natural and financial resources, and investments, state support, demographic structure, and the possibility of attracting an active part of the population to the economic activities of the territory refer to the economic potential. One of the indicators for assessing the economic potential of the territory is GDP since it covers not only the general indicators of the activity of an economic entity, but also the features of the sectoral and territorial structure.

The most definite indicators of the economic potential of a territory are reflected by the gross regional product (GRP) per unit area.

«More than half (52,1 %) of the total GRP, according to the estimate for the federal constituent entities of the Russian Federation, in 2020 will be formed by 10 constituent entities of the Russian Federation, namely, Moscow and St. Petersburg, Moscow and Sverdlovsk regions, Khanty-Mansiysk Autonomous District – Yugra, Yamalo-Nenets Autonomous District, Krasnodar and Krasnoyarsk regions, the Republics of Tatarstan and Bashkortostan»⁷.

According to the forecasts of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, the share of the above economic entities in the total volume of GRP will increase by 0,2 % by 2023.

It should be noted that the indicator of gross regional product accounts only for the activities of territorial economic entities, which entails a difference in the values of expenditures determined at the federal level.

Transport Unity of Territories as an Integrator of Economic Growth

The peculiarity of interaction in assessment of transport products, in cases where production is in a territory, and consumption is in another one, can be determined by the state of the transport infrastructure since it forms a foundation of a single economic space.

⁷ Forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for 2021 and for the planning period of 2022 and 2023. Web-site www.consultant.ru. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363743/. Last accessed 30.03.2021.

Since the Russian Federation has a vast territory, then transport availability, «characterises development of the transport infrastructure of land modes of transport and can be determined both for each mode of transport and for the transport system of the region as a whole» [8].

One of the most evident transport factors reflecting development of transport infrastructure is the length of roads, railways, waterways, and pipelines, which clearly shows improvement of the transport system, as well as the provision of the country with transportation.

The length of roads, railways, waterways and pipelines at the end of 2019, according to the Federal State Statistics Service, is shown in Table 2.

The shown statistical data include the length of streets, railway sections located outside the Russian Federation and the main oil product pipelines in the territories of foreign countries.

It should be noted that the negative dynamics of the length of oil pipelines is associated with force majeure circumstances, such as the end of the reserve of resources on the territory and high depreciation of equipment, since the main pipeline fund was built over 20 years ago. It is to be noted that the pipeline network is wearing out, and its replacement requires large capital investments.

The dynamics of the length of inland waterways is associated with the hydrological situation, and, even though the indicator is negative, it is within the normal range.

The positive dynamics of the length and operation of all transportation ways indicates the effectiveness of strategic reforms and decisions taken by the state.

The efficiency of transportation affects the positive savings in the working capital on the territory of the country, which leads to strengthening of economic ties between its federal districts and «confirms the importance of the transport sector in the context of economic and social development» [9].

It is possible to objectively reflect the activities and interdependence of economic entities within the total area of the Russian Federation using statistical data on cargo turnover by mode of transport (Table 3).

The comparative dynamics of 2015 through 2019 shows that the overall level of cargo turnover by modes of transport has increased, this is characterised by an increase in the distance of transportation, an improvement in the quality



Table 2

Length of roads, railways, waterways and pipelines in the Russian Federation by the end of 2019, thousand km*

	2015	2016	2017	2018	2019	change in indicator 2019 to 2015, +/-
Operating length of public railways	86,3	86,4	86,5	86,6	87,0	+0,7
Length of public motor roads	1 480,5	1 498,5	1 507,8	1 531,6	1 542,2	+61,7
Length of gas pipelines	177,7	179,3	179,8	179,3	181,8	+4,1
Length of oil pipelines	54,8	54,2	53,4	53,4	53,4	-1,4
Length of oil product pipelines	19,3	16,6	17,3	17,1	16,8	-2,5
Length of inland waterways	101,7	101,5	101,5	101,5	101,6	-0,1

* Length of roads, railways, waterways and pipelines in the Russian Federation, Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>. Last accessed 07.04.2021.

of roads, and an increased demand for goods. Consequently, improvement of the internal transport infrastructure provides an opportunity to reduce the cost of supplying goods even to the most remote points of the country. Commissioning of new equipment, optimisation of current routes helps to achieve the highest results. The new material and technical base affiliates (or changes affiliation thanks to modernisation) an enterprise to a certain industry and is the most significant part of the assets. Therefore, another key element is the technological potential of the territories, which characterises development, including technology.

Investments in the Transport Infrastructure of the Territories

In the context of the spatial heterogeneity of the territories of the Russian Federation, the prospects for development of most economic entities depend on the access to various resources and infrastructures. On the one hand, the presence of the classical supply-demand system for business entities should have a positive effect, «on the other hand, the transport infrastructure can have an economic effect only if certain requirements are met: investment, government support and the presence of an institutional environment» [10].

Technological innovations streamline and update the industrial sector, as well as increase the opportunities for progressive activities of territories, neutralising, if optimal infrastructural and market conditions are met, risks of ineffective use of resources due to remoteness from monocentric agglomerations. Therefore, the technological capacity of a territory depends on formation of stable chains of interaction between market entities, as well as on the forms and types

of production. «With an intensive type of economy, the volume of goods produced increases due to improvement of the use of resources based on scientific and technological progress, the use of more efficient means of labour, advanced technologies and forms of organisation of production» [11].

For the most part, the country's strong economy is based on production of high-tech products.

According to the Global Innovation Index, the Russian Federation in 2020 ranked 47th in terms of the competitiveness of innovative development among other countries⁸, and 45th in 2021⁹. This indicator for the country is not paradoxical since for example, in 2019 and 2018, the country was ranked 46th. In comparison with countries that have taken advanced positions, the main problem of the Russian Federation might be associated with lower investment and innovation activity, in connection with which it is worth clarifying that one of the key indicators of development of new technologies in any country is the amount of investment in development and implementation of innovations.

Innovation developments in transport sector has a multidimensional significance for implementation of economic and technological capacity of a territory, for development of transport as of a national high-tech sector, for development of ability of transport to ensure better connectivity of territories and, consequently, better implementation of their potential capacity [8–11].

⁸ [Electronic resource]: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2020-intro4.pdf. Last accessed 01.09.2021.

⁹ [Electronic resource]: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf. Last accessed 21.09.2021.

Table 3

Cargo turnover by modes of transport, bln t·km*

	2015	2016	2017	2018	2019	Indicator change 2019 to 2015, +/-
Transport, total	5 108	5 198	5 488	5 636	5 674	+566
including:						
railways	2 306	2 344	2 493	2598	2602	+296
road	247	248	255	259	275	+28
pipeline	2 444	2 489	2 615	2668	2686	+242
including:						
gas pipeline	1 176	1 181	1 300	1336	1318	+142
oil pipeline	1 226	1 262	1 265	1276	1318	+92
oil products pipeline	42	46	50	55	51	+9
sea	42	43	50	37	37	-5
inland water	64	67	67	66	66	+2
air	5,6	6,6	7,9	7,8	7,4	+1,8

* Cargo turnover by modes of transport. Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>. Last accessed 06.04.2021.

Consequently, investment in development of a territorial entity «determines the long-term dynamics of its economic capacity and the level of development of the social sphere, in this regard, it should be planned, analysed and regulated within the framework of state and regional investment policy based on the developed strategy for investment development of transport infrastructure» [8].

It should be noted that «current trends give reason to expect the early emergence of the first fully automated public transport system on a city scale» [12]. This confirms the fact that innovations in transport infrastructure raise the level of quality of transport services and optimise the activities of economic entities since «the current stage of technological development of the region affects certain types of production of goods, for example: raw materials, intermediate products, final consumption goods, services, etc.» [13].

Transport infrastructure innovations are aimed at optimal integration of transport with the economy of a territorial entity and allow economic entities to develop. But it is the ability of «economic entities to increase and strengthen their production, which gives them the opportunity to achieve sustainable competitiveness in the market of transport services» [14].

CONCLUSIONS

Thus, the economic system of a particular territory is a complex of industrial sectors, the level of development of which streamlines the activity of economic entities which leads to the

implementation of opportunities for economic growth of the territory and sustainable operation of economic entities located in it.

«In general, the nature of development of transport infrastructure and its functional features are largely determined based on the specific features of a particular region, as well as on the degree of interaction and relationship with such infrastructural elements as engineering and social infrastructure, IT infrastructure and others» [15].

Accordingly, the analysis of indicators characterising the influence of the transport complex becomes a constant for formation of strong economic ties between territorial entities.

The aggregate potential of the territories of a country, which is evidently shown by the example of Russia, is defined as a complex qualitative-quantitative possibility of availability of all types of resources accumulated in a single territory, as well as the ability of an economic entity of the territory to use these resources for the most effective achievement of the tasks set for a specific period.

The degree of development of intra-territorial transport infrastructure, as well as of national transport system, providing for optimal connectivity of the territories, contributes to their effective inclusion into transportation and logistics chains of production and commercialisation of goods and services, and finally to implementation of their economic and technological capacity.

The suggested concept and theoretical approach can be further implemented through creating integrated methodology for assessing cross-influence of transport, economic and



technological factors within the described general model.

REFERENCES

1. Trofimova, N., Mamleeva, E., Sazykina, M., Shiryayeva, G. Territory production potential. SHS Web of Conferences, Vol. 94, 2021. Sustainable Development of Regions 2020 – XVI International Scientific and Practical Conference «State. Politics. Society». DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219401016>.
2. Shkurina, L. V., Maskaeva, E. A., Sertakova, E. N. Problems of assessing the economic and technological potential of a transport company providing passenger transportation in suburban traffic [*Problemy otsenki ekonomiko-tehnologicheskogo potentsiala transportnoi kompanii pri realizatsii perevozok passazhirov v prigorodnom soobshchenii*]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2015, Iss. 4, pp. 62–64. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25081913>. Last accessed 01.09.2021.
3. Guskina, N. V. Theoretical foundations of the structure of the economic and technological potential of territories [*Teoreticheskie osnovy struktury ekonomiko-tehnologicheskogo potentsiala territorii*]. *Strategic development of socio-economic systems in the region: an innovative approach: materials of VI international scientific and practical conference: collection of articles and abstracts*, Vladimir, 03 June 2020. Vladimir, Publishing and printing company «Transit-ICS», 2020, pp. 125–129. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42986868>. Last accessed 01.09.2021.
4. Uskova, T. V. On the development potential of Russian territories [*O potentsiale razvitiya territorii*]. *Problemy razvitiya territorii*, 2018, Iss. 5 (97), pp. 7–17. DOI: 10.15838/ptd.2018.5.97.1.
5. Shkurina, L. V., Guskina, N. V. Trends of the transport complex influencing the development of the economic potential of the territories of Russia [*Trendy transportno kompleksa, vliyayushchie na razvitie ekonomicheskogo potentsiala territorii Rossii*]. *Trends in economic development of the transport complex of Russia: foresight, forecasts and strategies: Collection of scientific papers of the national scientific-practical conference, Moscow, March 18, 2020*. Russian University of Transport. Moscow, Infra-M, 2020, pp. 253–257. ISBN 978-5-16-016798-5. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45814088&selid=45814201>. Last accessed 01.09.2021.
6. Isaev, A. G. Transport infrastructure and economic growth: spatial effects [*Transportnaya infrastruktura i ekonomicheskii rost: prostranstvennye efekty*]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 2015, Iss. 3, pp. 57–73. DOI: 10.14530/se.2015.3.057-073.
7. Pavlova, A. N., Shkurina, L. V. Cost planning within the framework of optimising the cost base of a transport company in a competitive environment [*Planirovanie zatrat v ramkakh optimizatsii raskhodnoi bazy transportnoi kompanii v konkurentnoi srede*]. *Current state, problems and prospects for development of industry science: Proceedings of the All-Russian conference with international participation, Moscow, November 20–23, 2019*. Ed. by T. V. Shepitko. Moscow, Publishing house «Pero», 2020, pp. 170–171. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42959007>. Last accessed 01.09.2021.
8. Shkurina, L. V., Voblova, T. V., Beryakov, S. N. Theoretical and methodological foundations of financing the transport infrastructure of the regions [*Teoretiko-metodologicheskie osnovy finansirovaniya transportnoi infrastruktury regionov*]. *Ekonomika i predprinimatelstvo*, 2019, Iss. 2 (103), pp. 381–383. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37238704>. Last accessed 01.09.2021.
9. Vukic, L., Mikulić, D., Keček, D. The Impact of Transportation on the Croatian Economy: The Input–Output Approach. *Economies*, 2021, Vol. 9, Iss. 7, 16 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/economies9010007>.
10. Okechukwu, E., Madonsela, N. S., Adedotun, A. The Effect of Transportation Infrastructure on Economic Development. Conference: Proceedings of the 2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Harare, Zimbabwe, December 7–10, 2020. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/349476934_The_Effect_of_Transportation_Infrastructure_on_Economic_Development. Last accessed 06.10.2021.
11. Gulina, K. A., Mazilov, E. A., Kuzmin, I. V., Alferyev, D. A., Ermolov, A. P. Scientific and technological potential of territories and its comparative assessment [*Nauchno-tehnologicheskii potentsial territorii i ego sravnitel'naya otsenka*]. *Problemy razvitiya territorii*, 2017, Iss. 1 (87), pp. 8–24. [Electronic resource]: <https://findpatent.ru/magazine/024/245263.html>. Last accessed 01.09.2021.
12. Dudakov, D. S. Innovative development of public transport systems in the context of interaction with the urban environment [*Innovatsionnoe razvitie sistem obshchestvennogo transporta v kontekste vzaimodeistviya s gorodskoi sredoi*]. *Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii*, 2018, Iss. 1 (42), pp. 287–304. [Electronic resource]: https://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/PDF/21_dudakov.pdf. Last accessed 01.09.2021.
13. Gorbunov, A. A. Regional dimension of transport infrastructure development policy: foreign and domestic experience [*Regionalnoe izmerenie politiki razvitiya transportnoi infrastruktury: zarubezhnyy i otechestvennyy opyt*]. *Sotsialno-gumanitarnye znaniya*, 2018, Iss. 1, pp. 136–145. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnoe-izmerenie-politiki-razvitiya-transportnoy-infrastruktury-zarubezhnyy-i-otechestvennyy-opyt/pdf>. Last accessed 01.09.2021.
14. Guskina, N. V. Problems of transport services in the activities of business entities [*Problemy transportnykh uslug v deyatelnosti khozyaystvuyushchikh sub'ektov*]. *Trends in the economic development of the transport complex of Russia: foresight, forecasts and strategies, Moscow, April 21, 2020*. Institute of Economics and Finance of the Russian University of Transport (MIIT). Moscow, 2021, pp. 81–84.
15. Platonov, A. A. Factors of formation of the transport infrastructure of the region [*Faktory formirovaniya transportnoi infrastruktury regiona*]. *Education. Transport. Innovation. Construction: Collection of papers of II National Scientific and Practical Conference, Omsk, April 18–19, 2019*. Omsk, Siberian State Automobile-Road University (SibADI), 2019, pp. 236–241. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38256833>. Last accessed 01.09.2021.

Information about the author:

Guskina, Natalia V., Ph.D. student at the Department of Transport Economics, Finance and Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, n.guskina@yandex.ru.

Article received 21.04.2021, updated 30.09.2021, approved 14.10.2021, accepted 20.10.2021.



RAIL CARGO TRANSPORTATION 186

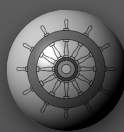
Macrotrends, international practices and analysis imply 7 development priorities comprising heavy-haul rail, containerisation, digitalisation, integration of informatics and logistics space, customer focus, increase in higher margin transportation, ecological friendliness, energy efficiency.



MULTIMODAL CONTAINER TRANSPORTATION 196

There are three groups of factors that directly influence the success of their development that belong to organisation, engineering and technology, infrastructure. Introduction of electronic document exchange and electronic monitoring tools of freight tracking are also of great significance.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL



ROAD TRANSPORTATION OF OIL PRODUCTS 202

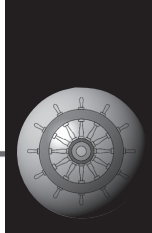
To participate in construction to enhance opportunities to better drive then: planning of operations of road enterprises providing supply of road construction materials.

PROVISION OF TOURISM WITH TRANSPORT SERVICES 210

Transport availability of resorts and their mutual connectivity comprise not only the issues of comfort of tourists but ecological aspects, civil aviation as well as water transportation.

URBAN PUBLIC TRANSPORT 218

Single-industry towns: peculiarities and general features of optimisation of transport services provided by urban public transport. How to find ways to combine two systems existing in parallel to achieve synergetic effect regarding funding and better service for city inhabitants.



ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-7>World of Transport and Transportation, 2021,
Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 186–195

Innovative, Scientific and Technological Priorities of Railway Freight Transport



Andrey V. TULUPOV



Alexey V. BELOSHITSKY



Egor A. SHITOV



Yulia A. SHITOVA

Andrey V. Tulupov¹, Alexey V. Beloshitsky², Egor A. Shitov³, Yulia A. Shitova⁴

¹ Centre for Innovative Development – a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

^{2, 3, 4} Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

✉ ³ egor.shitov@digital.msu.ru.

ABSTRACT

Seven main priorities for development of rail cargo transportation are emerging in the context of an active intensification of scientific and technological development cycles, widespread digitalisation of business processes and an increase in competition in the transport industry. A key element of increasing the attractiveness of rail cargo transportation is its innovative, scientific, and technological development, especially in terms of increasing customer focus. Today, the principles of customer focus in the field of railway transportation of goods are among core factors in competitiveness of railway carriers.

This issue is particularly relevant for the Russian Federation that owns a high potential for development of transit routes thanks to its advantageous geographic location. This fact determines attractiveness of railway transportation for cargo haulage customers.

The image of future scientific and technological development of railway cargo traffic is formed under the influence of such trends as development of heavy-haul rail traffic, international container transportation, proactive introduction of digital technologies for interacting with customers and monitoring the condition of rolling stock, the provision of services within a single transport and information space, increase in margins and environmental safety of transportation.

Digital transformation of the transportation process is among high priorities, which is explained through the importance of maintaining safety of transportation, increasing the transit capacity of the railway network and development of an integrated system for ensuring openness of data to provide customers with all the necessary information.

Another priority area serves to increase the economic efficiency of cargo traffic by achieving growth in the share of high-margin goods. Such goods may include pharmaceutical and perishable products, information and communication, electronic and radio-electronic products, etc. An increase in the share of such transportation with a decrease in the volume of coal/oil transportation also has a positive effect on external appearance of the railway company for external investors.

The image of the future of rail cargo transportation is largely dependent on various external and internal factors having effect on the industry. Besides, it depends on the emerging macro-trends in the global economy, which determine a certain vector for development of the railway industry.

The study, to achieve its purposes, has widely used qualitative research methods and bibliometric analysis of scientific literature, international strategic and program documents of the industry and its companies.

Keywords: rail cargo transportation, rail freight transport, scientific and technological priorities, customer focus, digitalisation, business model development.

For citation: Tulupov, A. V., Beloshitsky, A. V., Shitov, E. A., Shitova, Yu. A. Innovative, Scientific and Technological Priorities of Railway Freight Transport. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 186–195. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-7>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Cargo transportation is one of the main connecting elements of any economic system [1], which predetermines a high level of dependence of the economic development of any state on the degree of development of its transport system. The high importance of cargo traffic is determined by the fact that if it is impossible to organise them, there is a risk of stopping existing economic relations and not completing current production processes, which leads to a potential collapse of the economic system as a whole [2].

Railway transport, in turn, is one of the most common ways of organising cargo traffic.

Railways, i.e., in the Russian Federation, form an important link in sustainable provision of a diversified economy and in implementation of socially significant services for transportation of passengers and goods. Its share in the overall structure of cargo turnover at the end of 2020 was 47,12 %, ahead of the closest competitor (pipeline transport) by 1,39 percentage points¹. During the global COVID-19 pandemic, rail transport has strengthened its position as one of the key and backbone categories of transport [3].

In the future, demand for cargo railway transportation is expected to increase: according to forecasts of SCI Verkehr consulting company, the global cargo turnover in 2025 will amount to 11,9 bln ton•km compared to 10,4 bln ton•km in 2015 [4].

The key *objective* of this scientific paper is to identify the image of the future of cargo railway transportation from the standpoint of their scientific and technological development. When writing the article, the authors widely used the *methods* of bibliometric analysis: a review of both scientific literature and international industry documents and strategic plans of railway companies was carried out. The use of qualitative research methods made it possible to form an image of future development of rail cargo transportation as of a whole and of the place of the Russian Railways holding company within it.

RESULTS

On the Priorities of Rail Cargo Transportation

Further success to meet the growing demand for cargo transportation depends on the higher

extent on development of comprehensive services for shippers and on improvement of quality of cargo transportation. This agenda is especially relevant in the era of global digitalisation and acceleration of scientific and technological cycles when active development of intelligent systems for autonomous control of road transport and its electrification in the long term can lead to the ousting of railway transport from certain segments of the transport market.

Maintaining a competitive position in the transport services market and developing growing cargo traffic is in many ways closely related to the general level of innovative, scientific, and technological development of railway companies and their strategic priorities in this area. The most significant priorities for innovative and scientific and technological development of rail freight transport, that one can single out, comprise directions related both to expansion and optimisation of the existing business model, and to development of new services for provision of multimodal cargo transportation.

Analysis have allowed to reveal 7 streamlines among priorities.

1) Development of heavy-haul rail transportation.

One of the promising solutions to meet the growing demand for cargo haulage is organisation of dedicated heavy-haul rail traffic, which is a significant challenge for the entire railway industry due to the limited transit capacity of the existing railway network and the need for significant capital investments to increase it. The relevance of development of heavy-haul traffic is due, among other things, to the fact that the railway industry remains one of the key industries in the segment of transportation of bulk cargo, energy carriers, as well as other types of cargo. The cumulative growth in demand for railway transportation services, including services in the field of organisation of heavy-haul traffic, predetermines the need to improve the efficiency and safety of cargo railway transportation.

According to the International Heavy Haul Association, the term heavy haul railroad should be understood as a railroad that meets at least two of the following criteria²:

¹ Cargo turnover per mode of transport in the Russian Federation. Federal State Statistics Service. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455>. Last accessed 12.08.2021.

² Bylaws of the International Heavy Haul Association. [Electronic resource]: <https://ihha.net/bylaws-ihha>. Last accessed 12.08.2021.



Comparison of characteristics of heavy-haul trains

Operating company (country))	Operated (tested) axle load in the future until 2030, t	Number of cars, pcs
Aurizon (Australia)	40	264
BNOR (Norway)	30	ND
BNSF (USA)	30	170
CNR (Canada)	36	106
CR (China)	30	210
IR (India)	25	120
LKAB (Sweden)	30	68
Rio Tinto (Australia)	40	264
SSC (China)	25	ND
SHR (China)	25	ND
Transnet (South Africa)	33	375
UP (USA)	36	170
VALE (Brazil)	37,5	330
Russian Railways holding company (Russia)	27	142

Source: compiled by the authors based on materials from the official websites of railway companies, ND – no data. (Aurizon [Electronic resource]: <https://www.aurizon.com.au/>. Last accessed 12.08.2021; BNOR [Electronic resource]: <https://www.banenor.no/en/startpage1/>. Last accessed 12.08.2021; BNSF [Electronic resource]: <https://www.bnsf.com/>. Last accessed 12.08.2021; CNR [Electronic resource]: <https://www.cn.ca/en/>. Last accessed 12.08.2021; CR [Electronic resource]: <http://www.china-railway.com.cn/english/>. Last accessed 12.08.2021; IR [Electronic resource]: <https://indianrailways.gov.in/>. Last accessed 12.08.2021; LKAB [Electronic resource]: <https://www.lkab.com/en/>. Last accessed 12.08.2021; Rio Tinto [Electronic resource]: <https://www.riotinto.com/>. Last accessed 12.08.2021; SSC [Electronic resource]: <https://www.sscconsolidation.com/index.php>. Last accessed 12.08.2021; SHR [Electronic resource]: <http://www.csec.com/>. Last accessed 12.08.2021; Transnet [Electronic resource]: <https://www.transnet.net/Pages/Home.aspx>. Last accessed 12.08.2021; UP [Electronic resource]: <https://www.up.com/index.htm>. Last accessed 12.08.2021; VALE [Electronic resource]: <http://www.vale.com/en/pages/default.aspx>. Last accessed 12.08.2021; Russian Railways [Electronic resource]: <https://www.rzd.ru/>. Last accessed 12.08.2021).

- Regularly operates or is contemplating the operation of unit or combined trains of at least 5,000 tonnes gross mass.

- Hauls or is contemplating the hauling of revenue freight of at least 20 million gross tonnes per year over a given line haul segment comprising at least 150 km in length.

- Regularly operates or is contemplating the operation of equipment with axle loadings of 25 tonnes or more².

To organise heavy-haul traffic, railway companies operate rolling stock of increased weight and length. For example, the Transnet company (South African Republic), as part of its production activities, operates trains of 375 wagons (total length is of about 4 km), which allows it to transport goods with a total weight of more than 23,5 thousand tonnes [5].

In terms of axle load, the leadership belongs to the Australian companies Rio Tinto and Aurizon: on certain routes (for example, in Pilbara region for coal transportation, Rio Tinto), the axle load of wagons reaches 40 tonnes [6] (Table 1).

Transnet company has most widely introduced heavy-haul haulage: the share of dedicated track lines for organising heavy-haul traffic is 6,9 % of the total length of the railway's network.

The activities of international organisations for both heavy-haul traffic (IHHA) and rail transport in general (the International Union of Railways (UIC), the Organisation for Cooperation between Railways (OSJD) and so on) contribute to the exchange of best practices and technologies between companies and railway administrations involved in heavy-haul rail operations. Today, a common vision has been formed within the framework of such organisations regarding the future trends of technological development of companies, operating heavy-haul traffic, which includes:

- Improving infrastructure to meet new operational requirements.

- Introduction of engineering solutions for organising traffic of heavy-haul trains, including various intelligent driving systems, remote and automated control of train traffic.

- Creation of innovative traction rolling stock for driving heavy trains.

- Creation and implementation of wagons with increased carrying capacity, increasing the axle load of rolling stock and track load (more than 25 tonnes).

- Elimination of infrastructure bottlenecks and investment in increasing the capacity of railway lines, aligning existing access roads and tracks at stations, terminals (ports).

- Improvement of power supply systems [7].

2) Development of international container transportation.

Modern inter- and multimodal cargo transportation is based on the use of containers of the international ISO standard. The containerisation process, which developed in the middle of the last century, had a revolutionary impact, first on maritime transport, and then on the entire global transportation market. The introduction of containers made it possible to reduce time of delivery of goods, to simplify and speed up loading and unloading operations, to increase safety of goods, and to reduce labour costs. According to the forecasts of the Fortune Business Insights marketing agency, development of the container transportation market in 2018–2026 will be characterised by high growth rates: by the end of 2026, the global volume of the market in question will double and reach 1,1 million units [8].

This direction of development of railway cargo transportation is extremely promising in the context of the growth of international transit traffic, carried out by container and piggyback operations.

This type of transportation has shown active growth in the Russian Federation for several years: for example, in 2020 the volume of container traffic amounted to 5,81 million TEU, which is an increase by 16,5 % compared to 2019 [9]. In the coming years, the growth will continue, as the level of containerisation in Russia is still quite low, and external macroeconomic factors signal an increase in demand for transit container transportation along the Europe–China route through Russia.

The cost of railway transportation is less volatile compared to the sea transport; the sharp rise in the price of container shipping during the COVID-19 pandemic has created favourable conditions for development of transit container rail freight through Russia. This fact is largely associated with introduction of epidemic restrictions in seaports, which allowed railway transport to strengthen its competitive position due to stability in terms and availability of cargo delivery, including by increasing speed of transportation [10]. These factors made it possible to increase competitiveness of the railway industry in the

market of cargo transportation between the EU and China in comparison with other modes of transport, including sea transport. So, the average time of delivery of goods from East to West when using sea transport is 40 days, and by rail this transportation can be carried out in 20 days [11].

The organisation of container transportation is an integral part of development of railway communication in the EU countries: about 30 % of the total volume of cargo turnover is made with container transportation [12]. The main cargo flows pass through several transport corridors, where key terminals and logistics centres are concentrated. The development of container transportation in the EU countries is largely facilitated by tightening of legislative norms including requirements for safety of road traffic (limiting time a driver spends behind the wheel), requirements for ecology and environmental protection (restrictions on traffic at night, on weekends and holidays, in tourist and recreational areas).

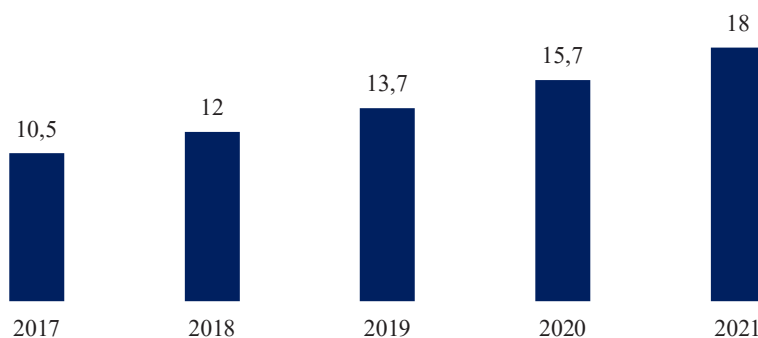
The most popular container transport routes operating in the EU include Gallarate (Italy)–Mechelen (Belgium) route³, which has shown positive results in the first years of operation, namely:

- Reduction of transport costs for carrier companies by 17 %.
- Reduction of harmful air emissions by 20 %.
- The total fuel economy of all companies participating in transportation for the year amounted to 2,5 million litres [13].

Over the past few years, Russian Railways holding company has been pursuing an active policy of growing customer focus and developing new services for delivery of goods, including within the framework of container transportation. The Russian Railways holding company is actively developing its international activities diversifying container transportation routes in the East–West and North–South directions. Within the framework of East–West direction, a service was launched for delivery of goods from Finland to South Korea, within the framework of North–South direction container transportations are carried out from India to Russia. Transportation using digital technologies is also actively developing. In

³ See, e.g.: <https://ambrogiointermodal.com/en/ambrogio-intermodal-network/>.





Pic. 1. Dynamics of the market of intelligent technologies in the railway industry, billion US dollars [15].

September 2020, the first intermodal transit of containers from China to Europe was carried out, fully followed in digital format [11].

In the future, development of container transportation will be aimed at improving types of containers used, developing demand forecasting tools and creating automated platforms for compiling all documentation (including transit and customs files). This provides additional opportunities for the railway sector to improve its competitiveness and strengthen its position in the continuous global transportation chain which is facilitated by intermodal transportation.

3) Digital transformation of cargo transportation.

Digital transformation is one of the most promising areas for development of cargo railway transport, as evidenced by the results of the IHHA survey [14]. At the present stage of developments, the railway industry has entered a stage of deep digital transformation associated with development of new digital technologies.

In the face of competition with other modes of transport, namely with air and road cargo carriers, railway companies strive to ensure that they remain competitive by introducing efficient digital solutions and smart technologies. Few years ago [15] the global smart technology market for the railway industry was expected to grow from USD 10,5 bln in 2017 to USD 18 bln by the end of 2021, at a CAGR of 14,4 % (see Pic. 1).

The digitalisation of business processes is one of the currently most pressing strategic priorities for development of railway companies and will continue to remain so in

the long term due to high importance, advantages of digital transformation and the opportunities it opens for transport. Digital solutions are being applied across a wide range of aspects of cargo transport to optimise operations and increase productivity, including through implementation of:

- Automated control systems for rolling stock and the transportation process in general.
- Intelligent systems for monitoring the technical condition of rolling stock and infrastructure facilities based on predictive analytics.
- Systems for tracking geolocation and monitoring the condition of goods in real time, including for customers.

For example, the China State Railway Group Company, highlighting digital development as a key long-term technological benchmark, implements digital technologies in such processes as maintenance of rolling stock, operation of information platforms, demand forecasting, etc. [16].

Digital transformation is also highlighted as a key development priority for Deutsche Bahn under the Digital Railroad Program, which aims to digitalise passenger traffic operations. Primarily digitalisation will be implemented through introduction of automated control systems for rolling stock, digital planning technologies, etc., which will increase the transit capacity of the railway network by 20 % in the forecast period to meet demand for growing cargo traffic [17].

Modern vectors for development of digital solutions for railway cargo transportation are aimed at creating an integrated system for ensuring the openness of data, as well as safety of rolling stock and infrastructure facilities. Breakthrough technologies make it possible to

form a single integrated network for monitoring the state of railway traffic and providing customers with the necessary information.

4) Development of transport and logistics systems in a single transport and information space.

The formation of a competitive market for transport services, centralisation of management of the transportation process, differences in the level of development of technologies and capacities of individual transport enterprises and other factors determine a decrease in accuracy and validity of operational decisions by participants in the transport market. Under these conditions, an important priority for development of railway cargo traffic refers to creation of a single transport and information space, that is, an information environment for collective access.

Under this aspect, the most relevant approach is organisation of inter- and multimodal cargo transportation, combining modes of transport for transportation of a consignment of goods under a single contract with a provider that ensures the «connection» of the necessary vehicles during the transportation process. Inter- and multimodal transportation is of particular importance in the context of deepening regional integration and development of international supply chains, which allows us to perceive their development as a megatrend for the transport and logistics system [18]. Moreover, inter- and multimodal transportation makes the delivery of goods cheaper (for both the consumer and the carrier) by avoiding negative factors of the geographic environment and more flexible response to changes in demand [19].

Solutions in the field of inter- and multimodality create a request for development of a systematic approach in formation of an information space for cargo transportation, which is being transformed into the unification of existing information systems into a single intelligent technological platform. This process makes it possible to move to integrated management of the railway company, improves quality of services provided, allows for active development of inter- and multimodal transportation, and improves efficiency of the whole business.

An example of InteGRail project can be highlighted, which was funded by the European Commission and implemented under the

leadership of European Rail Supply Industry Association (UNIFE) [20]. The InteGRail project aimed to create a coherent and coordinated information system that integrates the main railway subsystems to achieve higher levels of railway system performance in terms of transit capacity, average speed and punctuality, safety and optimal use of resources.

The project resulted in providing transparent access to the existing information systems of railway transport, as well as in improving methods for analysing big data at the level of entire European railway network. The emergence of new methods of processing big data, such as machine learning and artificial intelligence, makes it possible to provide the most relevant information to users, which allows development of integration processes within transport technology platforms.

The development of transport and logistics systems in a single transport and information space is closely correlated with digitalisation of corporate business processes, including development of electronic document management, internal and external control systems for the transportation process, customer interaction systems, etc. The positive consequences of such a transformation of railway companies include development of effective and fundamentally new mechanisms for the company to interact with consumers of cargo transportation services, as well as an increase in the efficiency of its own operations through development of feedback.

5) Increasing customer focus in the field of cargo transportation.

According to the World Bank, railway cargo transportation is facing stiff competition from road transport. This trend is expected to gradually intensify in the long term and be driven by introduction of new disruptive transport solutions, including autonomous electric trucks and on-demand transport services [21].

Air and road transport companies offer their customers flexible and efficient solutions (for example, «last mile» delivery services), advanced communication methods, and profiled loyalty programs. The presence of such an opportunity leads to a strengthening of their position in terms of competitive advantages compared to companies in the railway industry.



For example, in the EU, as of 2019, road transport was the leader in cargo transportation (76,3 %); railway transportation was ranked second (17,6 %), and transportation by inland water transport was ranked third with a share of 6,1 % [22].

In turn, in North America, the ratio between road and railway cargo transportation in 2017 was 63,3 % and 15,3 %, respectively [23].

Today, many large corporations are changing their organisational structure towards a horizontal approach, within which special attention is paid to assessing the level of customer satisfaction and loyalty. Traditionally, railway companies are considered to be among most conservative industries in implementing structural change, especially given the fact that railway companies are natural monopolies in a number of countries. However, in the face of growing competition with other modes of transport, railway companies are starting to focus more on the individual needs of the client.

Constant competitive pressure from the aviation and road transport encourages actors in the railway industry to develop and actively implement new tools and solutions for development of a customer-centric approach [24].

In this regard, the experience of aviation companies providing services in the field of cargo transportation is of particular interest. Air carriers are focused on active interaction with consumers carrying out systematic surveys of the level of customer satisfaction, followed by corporate ratings. The most widely used ratings of airlines in terms of customer focus are:

- Net Promoter Score (NPS) which is consumer loyalty index.

- Airline Quality Rating (AQR) developed based on data collection on the activities of airlines in the United States [25].

- American Customer Satisfaction Index (ACSI) developed based on the results of assessing the degree of customer satisfaction for more than 400 companies in 46 industries and 10 sectors of the economy, including the civil aviation.

- Routehappy, a system that provides clients with all the information they need to conduct own assessment [26].

The designated ratings and assessment mechanisms are used mainly for the passenger

segment of air transportation, while they are distinguished by a well-developed system of accounting for various parameters and making calculations.

It seems possible to effectively use similar mechanisms for obtaining feedback from customers in the field of cargo railway transportation, having previously selected the basic parameters and characteristics that affect customer satisfaction in the cargo segment to use them as the main components of the calculation.

In the context of growing competition in the field of cargo transportation with other modes of transport, primarily aviation and road, a customer-oriented approach is becoming one of the main conditions for successful development of railway companies in the logistics services market. When forming a customer-oriented approach, it is important for railway companies to consider both current customer requests (provision of services in the field of multimodal transportation, openness of information) and their future needs, which will change under the influence of changes in the structure of society, lifestyle and living conditions (increased mobility and urbanisation), social values (ecological thinking).

The ability to fully satisfy the current and future demands of cargo transport customers directly depends on the level of development of specialised loyalty programs and implementation of solutions that optimise indicators that directly affect the level of customer satisfaction. The degree of customer satisfaction depends on several factors, first of all, on the performance indicators of companies, which directly affect such parameters as:

- Punctuality (level of delays, downtime).

- Safety (technical condition of rolling stock and infrastructure, cargo safety, accident rate).

- Quality of service (price of services, availability of open communication with clients, availability of information).

To optimise activities aimed at achieving the best conditions for provision of cargo transportation services, railway companies are introducing various technological solutions into operation processes that improve operational efficiency and automate key processes.

6) *Increase in the share of high-margin cargo transportation.*

Cargo road transport is characterised by greater efficiency in terms of the actual costs associated with organisation of cargo transportation over short distances, compared to railway transport [27]. Cargo road transport is characterised by a higher level of flexibility, providing door-to-door services to the final consignees. In this case, the environmental advantages of railway transport are levelled out since the difference in emissions over short distances is negligible.

A higher speed of transportation over short distances by road and over longer ones by air leads to a decrease in competitiveness of cargo railway transportation in the segment of delivery of high-margin cargo.

Further migration of highly profitable cargo to other modes of transport will lead to low growth rates of the income base while maintaining constant costs, which is one of the threats to the railway industry [28]. For this category of transportation, the decisive factor for the client is not the cost of transportation, but safety of the cargo, delivery speed, schedule flexibility, as well as the convenience and possibility of door-to-door delivery.

Many railway companies, including the Russian Railways holding company, set themselves the task of expanding the range of special products and services to attract highly profitable cargo and transit cargo flows [28].

For example, CNR railway company (Canada) is expanding its fleet of intelligent refrigerated cargo wagons that can maintain a set temperature throughout the journey to meet the growing demand for transportation of perishable goods and pharmaceuticals. In addition, to ensure safety of medical goods with special storage conditions, the company uses technological solutions in the field of passive temperature maintenance: to move products stored at extremely low temperatures, cooling with liquid nitrogen is used, for the most efficient implementation of which special containers are developed, including innovative materials for thermal insulation and specialised, adapted to extreme conditions, liquid nitrogen level monitoring systems.

Besides, the speed of transportation is an important factor for customers who have a demand for transportation of high-margin cargo. In this context, development of high-

speed railway cargo traffic seems to be especially promising. Now, such transportation has already been organised in Italy between the cities of Caserta and Bologna, trains cover about 600 km in 3,5 hours [29]. China [30] and the Russian Railways [28] have plans for development of high-speed cargo transportation via the railway network. For the latter company development of technologies for high-speed transportation of packaged cargo containers along high-speed railroads makes part of the priority strategic tasks.

One of the priorities of European railway companies is organisation of combined transportation in terms of integrating small-sized cargo transportation into passenger transport. This direction implies the inclusion of several cargo wagons in the passenger train to increase the efficiency of transportation, reduce the load of cargo traffic, and so on. An alternative solution could be creation of specialised wagons that would be designed both for transportation of passengers and for transportation of small-sized cargo (for example, equipping passenger coaches with specialised storage chambers for transportation of small consignments).

7) *Improving environmental safety and energy efficiency.*

The growing attention to the environmental conditions and the general environmental agenda on the part of the population is contributing to a change in consumer behaviour, which results in an increase in demand for railway transport, which is considered to be more environmentally friendly than transportation by other modes of transport.

Improving environmental safety, reducing the volume of waste generated and the carbon footprint, including to create conditions for sustainable development, is one of the most urgent priorities for long-term development of cargo railway transport. In the long term, rolling stock development focuses on the use of hybrid and all-electric traction drives, as well as alternative fuels, including biofuels, hydrogen fuel cells, fuel cells of the natural gas cycle and renewable energy sources.

Another important priority for railway freight transport is development of the principles of a circular economy. The need for the industry for transition from a linear to a circular economy was noted in the UIC study



«A Global Vision for Railway Developments» [31]. While implementing the priority under consideration, it is planned to develop technologies that allow for more efficient processing of industrial waste, which will be reused in the railway industry or other areas of production and will allow the transition to a waste-free economic system.

CONCLUSIONS

Today, the railway transport, considering its specific features, faces the task of increasing the efficiency of cargo transportation and the level of customer satisfaction.

The process of technological and digital transformation of railway transport contributes to the faster implementation of solutions to optimise indicators that affect customer satisfaction with quality of services provided. At the same time, the growth of international cooperation in terms of technological development ensures the exchange of the best available technologies in the field of monitoring the state of technical equipment, storing and processing data, predictive analytics and building effective communication channels. The introduction of such advanced technologies and technical solutions into the activities of a railway company has a positive effect on the company's image in the market, which is especially important in the face of growing competition with other modes of transport.

Taking into account the considered priorities of the innovative, scientific and technological development of railway companies, the image of the future cargo railway transport can be formulated as follows: highly probable that in the future digital technologies providing the opportunity to create a single information space to support and increase transparency at all stages of transport and logistics activities will actively develop along with the rolling stock using alternative energy sources for implementation of cargo traffic on non-electrified lines without direct CO₂ emissions.

The railway companies will pay particular attention to development of heavy-haul traffic, including by increasing the axle load of traction rolling stock and cargo wagons, and of high-speed cargo traffic. Digital technologies will transform the process of managing the load of the railway network to optimise train schedules and improve punctuality of railway

transportation, including for door-to-door delivery.

The need for cargo safety, high speed of delivery and flexibility of the schedule, as well as convenience and the possibility of door-to-door delivery determines customer's choice of a vehicle for transporting cargo. To maintain the positive dynamics of the growth of the revenue base of railway companies, it is necessary, for example, to expand the fleet of intelligent and high-speed cargo wagons, as well as to organise combined transportation.

Prioritising the development of cargo rail cargo transport is a strategic decision aimed at increasing the competitiveness of railways at the expense of internal development reserves with an increasing role of external factors. In the long term, this solution can ensure the leadership of the railway industry in the transport and logistics services market.

In this paper, the authors give a general view of development of cargo railway transport. Each of seven indicated priorities of innovative and scientific and technological development can be more closely considered in separate papers and be the central topic for a more detailed study.

REFERENCES

1. Golovatenko, K. S. Analysis of environmental factors of a cargo transportation company [*Analiz faktorov vnesnei sredy kompanii po gruzoperevozkam*]. *Nauka bez granits*, 2019, Iss. 12 (40), pp. 5–13. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41602626>. Last accessed 12.08.2021.
2. Povarov, G. V., Selezneva, A. V. The role of transport in the Russian economy [*Rol' transporta v ekonomike Rossii*]. *Transportnoe delo Rossii*, 2015, Iss. 6, pp. 286–287. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476126>. Last accessed 12.08.2021.
3. Vorobyova, O. T., Suvorova, S. D. Market of international cargo transportation: assessing the impact of the pandemic [*Rynok mezhdunarodnykh gruzoperevozek: otsenka vliyaniya pandemii*]. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2020, Iss. 10-1 (68), pp. 49–52. DOI: 10.24411/2411-0450-2020-10764.
4. Rail Transport Markets – Global Market Trends 2016–2025. SCI Verkehr website. [Electronic resource]: https://www.sci.de/fileadmin/user_upload/Flyer_Rail_Transport_Markets_eng.pdf. Last accessed 12.08.2021.
5. Heavy-haul traffic in the focus of Transnet [*Tyazhelovesnoe dvizhenie v fokuse vnimaniya Transnet*]. *Zheleznice dorogi mira*, 2018, Iss. 2, pp. 36–38. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32327691>. Last accessed 12.08.2021.
6. 40t Axle Load Ore Wagon for Australia. CRRC official website. [Electronic resource]: <https://www.crrcgc.cc/en/g5185/s13965/t264147.aspx>. Last accessed 12.08.2021.
7. OSJD Seminar on International Railway Transport Law «Bernese Days» [*OSJD. Seminar po voprosam mezhdunarodnogo zheleznodorozhnogo transporta «Bernskie dni»*]. [Electronic resource]: <https://osjd.org/ru/9197>. Last accessed 12.08.2021.

8. ISO Container Market Size. Fortune Business Insights. [Electronic resource]: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/iso-container-market-101387>. Last accessed 13.08.2021.
9. 2020 results. FESCO Website. [Electronic resource]: <https://www.fesco.ru/ru/presscenter/blog/itogi-2020-goda/>. Last accessed 13.08.2021.
10. Overview of the Russian transport sector in 2018. KPMG Website. [Electronic resource]: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/05/ru-ru-transport-survey-052019.pdf>. Last accessed 13.08.2021.
11. The railway cargo market of the countries of Space 1520. Institute for Natural Monopoly Problems. [Electronic resource]: http://ipem.ru/files/files/research/20201022_cargo_rail_market_at_gauge_1520_mm.pdf. Last accessed 13.08.2021.
12. UIC. Combined transportation in Europe. [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/2018_report_on_combined_transport_in_europe.pdf. Last accessed 13.08.2021.
13. Kuznetsova, A. I., Zubets, A. Zh. Piggyback transportation: new opportunities in modern conditions [Kontreilernie perevozki: novye vozmozhnosti v sovremennykh usloviyakh]. *Transportnoe delo Rossii*, 2015, Iss. 2, pp. 59–61. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23660496>. Last accessed 13.08.2021.
14. Defining the heavy-haul railway of the future. Mining Weekly. [Electronic resource]: https://www.miningweekly.com/article/defining-the-heavy-haul-railway-of-the-future-2019-06-07/rep_id:3650. Last accessed 14.08.2021.
15. Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Castedo, L. Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways. *Sensors*, 2017, Iss. 17 (6), pp. 1457. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17061457>.
16. Railway 13th Five-Year Plan. China Railway. [Electronic resource]: http://www.china-railway.com.cn/english/about/corporateStrategy/201904/t20190409_93012.html. Last accessed 14.08.2021.
17. The future of mobility lies in the tracks. Deutsche Bahn website. [Electronic resource]: https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization_new/digitalrail-3625818. Last accessed 14.08.2021.
18. Krauklish, A. A. Multimodality as a megatrend of the world transport system [Multimodalnost' kak megatrend mirovoi transportnoi sistemy]. *Postsovetitskiy materik*, 2020, Iss. 3 (27), pp. 78–85. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44629260>. Last accessed 14.08.2021.
19. Fyodorova, T. Yu., Fyodorova, Yu. R. Multimodal cargo transportation [Multimodalnie gruzovie perevozki]. *E-Scio*, 2020, Iss. 11 (50), pp. 371–376. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44452355>. Last accessed 14.08.2021.
20. Project InteGRail. European Commission. [Electronic resource]: <https://trimis.ec.europa.eu/project/intelligent-integration-railway-systems#tab-results>. Last accessed 15.08.2021.
21. The world is going digital – time for the rail industry to jump on board. World Bank Blogs. [Electronic resource]: <https://blogs.worldbank.org/transport/world-going-digital-time-rail-industry-jump-board>. Last accessed 15.08.2021.
22. Freight transport statistics – modal split. Eurostat. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transport_statistics_-_modal_split. Last accessed 15.08.2021.
23. Total Value and Modal Shares of U.S.-North American Freight Flows. Bureau of Transportation Statistics. [Electronic resource]: <https://www.bts.gov/content/table-1-total-value-and-modal-shares-us-north-american-freight-flows>. Last accessed 16.08.2021.
24. Mamaev, E. A. Complexity and customer focus of transport and logistics services in the digital economy [Kompleksnost i klientoorientirovannost transportno-logisticheskikh uslug v tsifrovoi ekonomike]. *Bulletin of the Russian State Economic University of RINH*, 2020, Iss. 4 (72), pp. 68–75. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44867309>. Last accessed 16.08.2021.
25. Airline Quality Rating. 2020 Airline Rankings. [Electronic resource]: <https://airlinequalityrating.com/>. Last accessed 16.08.2021.
26. Here are the Best Airline Ratings. They're not what you expect. *Forbes* [Electronic resource]: <https://www.forbes.com/sites/christopherelliott/2019/04/07/what-are-the-best-airline-ratings/#15a698d515de>. Last accessed 16.08.2021.
27. Train vs Truck Transportation – Efficiency, Cost, Advantages & Disadvantages [Infographic]. Freightera Website. [Electronic resource]: <https://www.freightera.com/blog/train-vs-truck-transportation-efficiency-cost-advantages-disadvantages-infographic/>. Last accessed 16.08.2021.
28. Development strategy of the Russian Railways holding for the period up to 2030 (key provisions). RZD Website [Electronic resource]: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=804>. Last accessed 16.08.2021.
29. Mercitalia fast new high-speed freight service presented. UIC Website. [Electronic resource]: https://uic.org/com/enews/nr/621/article/mercitalia-fast-new-high-speed-freight-service-presented?page=modal_enews. Last accessed 16.08.2021.
30. China planning high-speed rail freight network to help e-commerce sector. *South China Morning Post*. [Electronic resource]: <https://www.scmp.com/news/china/politics/article/3098444/china-planning-high-speed-rail-freight-network-help-e-commerce>. Last accessed 16.08.2021.
31. A Global Vision for Railway Development. UIC Website. [Electronic resource]: https://uic.org/IMG/pdf/global_vision_for_railway_development.pdf. Last accessed 16.08.2021.

Information about the authors:

Tulupov, Andrey V., Master in Engineering and Technology, Deputy Head of the Centre for Innovative Development, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, tulupovav@center.rzd.ru.

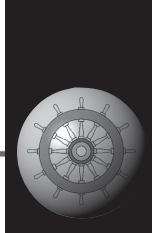
Beloshitsky, Alexey V., Master in Economics, Executive Director of the Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, alex.v.beloshitskiy@gmail.com.

Shitov, Egor A., Master in Management, Head of Consulting and Expertise at the Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, egor.shitov@digital.msu.ru.

Shitova, Yulia A., Master in Management, Deputy Head of Consulting and Expertise at the Centre for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, yuliya.shitova@digital.msu.ru.

Article received 03.09.2021, approved 15.10.2021, accepted 22.10.2021.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-8>World of Transport and Transportation, 2021,
Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 196–201

Main Factors Affecting the Multimodal Transport System



Mikhail L. PONOMAREV



Nadezhda A. FILIPPOVA



Alexander Y. VELIKANOV



Alexander A. NERETIN

*Mikhail L. Ponomarev¹, Nadezhda A. Filippova²,
Alexander Yu. Velikanov³, Alexander A. Neretin⁴*

¹ IMEXPROFI Ltd., Moscow, Russia.

^{2, 3, 4} Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

✉ ² umen@bk.ru.

ABSTRACT

Optimisation of organisation of transportation technological process, in the context of digitalisation and technological progress, is currently an urgent task following its significant impact on efficiency and competitiveness of transportation business.

Currently, development of the economic environment requires a significant restructuring of organisational aspect of activity of the transport industry. An efficient transport and logistics process allows us to reduce time associated with cargo handling, cargo delivery, paperwork, etc. Automated storage systems can be mounted at facilities of different area, from largest warehouses of enterprises to compact storage premises.

Favourable conditions created so allow to increase attractiveness of the transport industry. Though, the full implementation of information technology requires a systematic and scientific approach to organisation of transportation.

Given the trend towards growth in international container transportation, expansion of global distribution networks, as well as development of scheduled transportation systems and the length

of routes, which is particularly relevant for Russia, the issue of tracking positioning and controlling over the current state of the cargo becomes an important condition for improving safety and quality of transportation.

The objective of the study was to develop a systematic approach to organisation of transportation technological processes for a multimodal transport system based on information technologies.

Based on the study of organisation, engineering, technological, infrastructure factors, including those related to transition to electronic document exchange and electronic cargo positioning tracking, the paper offers a basic systematisation of more promising factors.

The introduction and use of innovative and effective methods of organising cargo transportation will reduce time required to process cargo transported in a container, and to promptly pass the container through control and supervisory procedures.

Keywords: multimodal transportation, transport system, container, information technologies, factor, QR-code, WMS, sensors, GLONASS, GPS.

For citation: Ponomarev, M. L., Filippova, N. A., Velikanov, A. Yu., Neretin, A. A. Main Factors Affecting the Multimodal Transport System. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 196–201. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-8>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Optimisation of organisation of transportation technological process, under digitalisation and technological progress, has significant impact on efficiency and competitiveness of production [1]. For efficient implementation of information technology, it is necessary to apply systematic and scientific approach to organisation of transportation considering all technological processes involved [2]. This issue is even more relevant when considering international multimodal transportation, first of container transportation, since for them positioning tracking and controlling over the current state of the cargo become important condition for achieving better safety and transportation quality [3].

This set of problems is particularly important for conditions prevailing in Russia considering transit capacity of the country and the length of routes. The issues of growth in efficiency of multimodal transportation through modernisation of technological processes equally refer to the topics of goods transit and to the tasks of development of the entire transport system. Today, transport is among most rapidly growing industries in the Russian Federation that provides for strong links between different sectors of the economy. Efficient transport operations ensure completeness of technological and production processes, without which successful organisation of enterprises' operations is not achievable practically in any field of activity.

The *objective* is to develop a systematic approach to organisation of transportation technological processes for a multimodal transport system based on information technologies.

Development and implementation of a single transportation technological process should be based on integration of production and transport. This will improve quality of transportation and reduce expenditures of resources.

Many factors influence improvement of quality of transportation. External factors, as a rule, cannot be changed, however, if they are considered, then internal factors can be predicted, controlled, and adjusted.

The *method* of expert assessment was used to identify the most significant factors. The essence of the method is to analyse the problem and assign quantitative assessment to those

judgments that are closest to the experts. To achieve meaningful result, obtained quantitative data are processed and group's opinion is generalised. To organise expert assessment, it is necessary to select experts, conduct a survey and process the results.

The reliability of assessments depends on the composition of experts therefore the process of selection of experts must be of high quality, and the number of experts must be at least ten. The reliability of assessments depends on qualifications of the expert group and the number of experts in the group.

Of many types of polling, such as questioning, interviewing, the Delphi method, brainstorming, discussion, a questionnaire was chosen as the most common method to get a specific result.

The survey consisted of the filling by the experts (total number of experts was 38) of the proposed questionnaire in writing, which contained questions on the essence of the problem being analysed. The completed questionnaire, together with an explanatory note, were sent to the experts. The explanatory note included a message to experts, explanation of the purpose of the survey, instructions for filling out the questionnaire and other necessary organisational information.

RESULTS

The method of expert assessment has shown that the main factors affecting the transportation process are factors related to organisation, engineering (technics), technology, and infrastructure.

Organisational Factor

When shaping the transportation process, the organisational factor is a key one since it fully affects quality of the transportation process. The organisational factor is a set of principles, rules, activities, methods and solutions that ensure the interconnection of works and processes in space and time. High-quality development of the organisational process and the level of its execution ensure both safety and timeliness of transportation. Timely delivery of cargo is a key transport service that must be satisfied, for this, delivery times should be reduced by routing transportation, one of the methods is formation of container trains and their transportation without processing along the route.



Information support offers the following benefits:

1. Information about the order (status, delivery time, accompanying documentation).
2. Effective management of stocks, financial and labour resources.

The leading technology in organisation of monitoring and control of vehicles is the navigation system, which will create an effective relationship between the vehicle and the control centre. The introduction of such information technologies in the field of transportation will make it possible to comply with international standards in the field of information support. Thus, attractiveness and competitiveness of transport enterprises will increase, it will be possible to predict market needs and further create conditions to meet these needs [4; 5].

Electronic document exchange in the field of cargo transportation allows us to transfer all existing paperwork documentation into digital format and completely abandon paper documents in the future. To reduce time for the container to undergo control and supervisory procedures, it is necessary to install a QR code on it. This will reduce the delivery time of containers by 1–2 days.

An electronic waybill (hereinafter – EW) will positively affect the efficiency and speed of information processing.

The use of EW for multimodal transportation of goods provides the following advantages:

1. Availability of documents. Moving paper documents takes a certain amount of time, until the driver transfers the documents to the office, prepares and sends a set of documents to the customer from the office, etc. Electronic documents are available, thereby speeding up the exchange of information.

2. Convenient storage. The physical storage of an array of documents, as well as timely provision of information during verification procedures initiated by government agencies, causes some difficulties since the data must be searched among paper archives, which takes an indefinite time. Due to the digital format, the search time for the necessary information is significantly reduced.

3. Instant changing. The introduction of necessary changes in the document is accompanied by the transfer of this document to get the signatures of all participants in transportation. In case of a change in the

information in EW, all participants will be notified thereof [6].

Preliminary notification of the customs service about the upcoming shipment takes place electronically through the portal of the Federal Customs Service of Russia. Directly at the customs post (i.e., by the driver in case of road transportation) only the identification number of transportation is transmitted using a barcode. A probability of an error when entering 36 characters of the number into the program is high; this leads to a delay in the load. To minimise human error, the best solution would be to use a QR code. The information encrypted in it has its own unique identification number of the shipment, which is read using a scanner.

For example, the already implemented application of the QR code in railway transport for payment for the provided terminal and warehouse services allows the client to make payments quickly and safely. The code contains all the necessary information: amount, details. The use of this system has proven to be effective.

The disadvantages of introducing a QR code system are high cost and complexity of introducing a single database due to the wide variety of transport companies.

The creation of an effective technological process for multimodal transportation of goods between the port and the terminal is necessary to speed up passage of goods across the border of the country. The single customs corridor created in this way will reduce the number of container inspections to a minimum percentage. The conditions, when the time for a container to pass through a customs point will be reduced, will become economically attractive for development of the container business. Difficulties associated with clearance of customs documentation, the passage through the customs post, unpredictability of the timing of customs clearance, container handling have a negative impact on development of quality of transport services.

The development and implementation of a single transport and technological process should be based on integration of production and transport. This will improve quality of transportation and reduce the resources expended. Based on a systematic approach, the developed algorithm of the transportation technological process will create conditions for

competent construction of the transportation process in multimodal transportation of goods, in which interaction of all participants and elements of the transportation process is coordinated [7; 8].

Technical and Technological Factor

The technical and technological factor is mechanisation and automation of production, the level of provision of the workplace with equipment. The growth of international trade leads to an increase in the exchange of goods between countries, and the question arises of how to adjust the workflow to match the requirements of the market. The introduction of information technology in the production process will increase labour productivity and allow rational use of resources, improve quality of work, and reduce financial costs [9; 10].

The increase in goods turnover suggests the use of containers as a versatile and capacious packing. The container is easy to use when organising international multimodal transportation (IMT), as it is suitable for road, rail, and sea transport. The use of containers helps to expand the list of containerised cargo, which leads to an increase in their standard size range, but it becomes necessary to modernise vehicles suitable for their transportation. All this leads to the need for development of container equipment and technologies corresponding to the world's production and transport systems.

Considering the growing trend to increased demand for international container transportation, expansion of global distribution networks, development of regularly scheduled delivery systems, the question of tracking and control over the current state of the cargo arises evidently. This becomes an important condition for improving safety and quality of multimodal transportation of goods, attractiveness of a transport company that meets these conditions.

There are multiple developments regarding relevant equipment, allowing to monitor above parameters in real time. The examples below show the technology implemented.

Onboard serial recorder (hereinafter – BSR) is equipped with measuring instruments (GLONASS/GPS receiver, shock and vibration sensor, thermometer).

Other systems allow monitoring the location of dry/refrigerated containers and monitor the physical condition of the cargo. Also, such

a system allows tracking changes in the state of the cargo from the moment of closing and sealing the cargo until the moment the door is opened.

Such systems work on the software platforms with a web-based interface for satellite monitoring of a transport vehicle, which allows tracking the path of the cargo and its physical condition using a computer or mobile device in real time. Using the software platform allows the users to store history, generate a detailed report on the location of the cargo and record events for any period. Not to miss information related to the state of the cargo, the program allows setting up email and SMS notifications, this will allow quickly learning about events and responding to them in a timely manner.

There are standalone GPS tracking and control systems used for controlling, monitoring, and tracking shipments. Such devices do not require any installation and provide important information including location, speed, temperature, exposure, and amount of light.

Shock indicator is a one-time shock indicator that records shocks (falls, collisions, shaking) along all axes. It is attached to a package with a cargo that requires careful handling.

The indicator will mark a strong shock or fall of the load and will proceed with a visual indication of the event: it will be seen at what stage the load is damaged.

Installation of sensors on a container for multimodal transportation of goods or directly on the cargo will allow tracking the location, the moment of closing and opening the door, illumination rate, humidity, and temperature inside the container, and recording any physical influences [11–13].

There are a lot of systems of different manufacturers competing in the market¹

¹ Example of general information: <https://intellias.com/smart-shipping-container-tracking/>. Websites of developers and operators: Kylos: <https://www.starcomsystems.com/kylos-ru/>. Oster, Remora: <https://www.digitalmatter.com/applications/container-gps-tracking/>. Piccolo: <https://wlius.com/uk/applications-2/shipping-containercargo-gps-tracking-devices-solutions-uk-3/>. Samsara: <https://www.samsara.com/guides/gps-tracking-forcontainers/>. <https://www.ms-scat.ru/b2b/resheniya/kontrolgruzov/>. Trade mark GPS-пОKarop [Monitoring systems – Service ltd.]: <https://www.ms-scat.ru/b2b/resheniya/kontrol-gruzov/>. Profio electronics: <http://www.efeel.co/gps-locator-for-container-ip66-waterproof-magnet>. Triton: <https://radioterminal.ru/katalog/gps-ghonassmonitoring/elektronnye-plomby/starcom-tetis-tritonstandart1>. Naviset SATLOCATOR PRO IRIDIUM: <http://naviset.su/p26/t12/t13/index.html>, and many others. Last accessed 22.05.2021.



(references in footnotes are used exclusively as examples found randomly without contacting developers to show different types of equipment and do not mean any recommendations either preference).

For the optimal use of rolling stock, development and building of the optimal route of movement of vehicles, an automated navigation system is used [14; 15].

Installation of GLONASS or GPS sensors in each vehicle will improve quality of transportation due to the drivers' compliance with the route, traffic schedule, and vehicle speed. Control over the work and rest time regime of drivers will increase road safety and reduce accidents. The main purpose of the sensors is to determine the point where an object is on Earth surface, calculating data on latitude, longitude, and altitude. On the map, the sensor shows not only its own location receiver, but also the objects located around it [16].

The use of sensors and vehicle tracking equipment has a positive impact on quality and safety of transportation. In this regard, there is a growing need to improve existing and create new sensors and indicators with new extended capabilities [17].

Infrastructural Factor

The infrastructural factor creates the conditions for performing auxiliary operations, such as loading and unloading, terminal and warehouse handling, storage, information support of cargo flows, etc. There are tools for technical provision of the service which are main transport and access ways (roads, railways, transport corridors, etc.), loading and unloading equipment for general use and specialised equipment intended for specific modes of transport, warehouses, terminals [18].

High logistics costs are associated with low level and quality of development of transport and logistics infrastructure; therefore, it follows that to activate trade flows, high-quality infrastructure should be available [19; 20].

The use of automated storage and warehouse systems allows installation at the facilities with various areas: from the largest warehouses of an enterprise to compact premises.

CONCLUSION

The authors of the paper have conducted general overview and analysis of the factors affecting quality of cargo transportation, and

based on the method of expert assessment, identified the main three factors, that may help to optimise the transportation process, identified the current state and development prospects of organisation of management of the transportation process using information technology.

The authors have overviewed general features of sensors and indicators that allow monitoring the positioning and condition of the cargo in the container in real time and considered the advantages of their use. The digitalisation of warehouses was highlighted within the infrastructural factors since it will allow us to quickly receive information about the loading of the warehouse, which is necessary for distribution of incoming vehicles and cargo across the territory of the enterprise, which will lead to a decrease in costs associated with downtime.

There is a need to proceed with comprehensive implementation of technologies linked to all three groups of factors. The individual conditions and opportunities of their implementation should be determined through balanced assessment of features of operations of a transport enterprise and of peculiarities of transportation process in which they are involved, as well as through the demand and requirements of the customers.

REFERENCES

1. Filippova, N. A., Moroz, L. G., Dolenko, D. V. Application of the method of network planning and management for planning multimodal transportation [Primenenie metoda setevogo planirovaniya i upravleniya dlya planirovaniya multimodalnoi perevozki]. *International Journal of Advanced Studies*, 2018, Vol. 8, Iss. 3-2, pp. 49-68.
2. Chebotareva, E. A., Solop, I. A. Development of logistics and information technologies for planning cargo delivery in the port transport and technological system of the South of Russia [Razvitie logisticheskikh i informatsionnykh tekhnologii planirovaniya dostavki gruzov v priportovoi transportno-tekhnologicheskoi sisteme Yuga Rossii]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2019, Iss. 6. [Electronic resource]: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6042>. Last accessed 22.05.2021.
3. Voronin, V. A., Kurenkov, P. V., Solop, I. A., Chebotareva, E. A. Modern technological and innovative solutions aimed at increasing the throughput and carrying capacity of railway lines [Sovremennye tekhnologicheskie i innovatsionnye resheniya, napravlennoye na uvelichenie propusknykh i provoznykh sposobnostey zheleznodorozhnykh napravlenii]. *Transportnye sistemy i tekhnologii*, 2021, Vol. 7, Iss. 2, pp. 16-29. DOI: 10.17816/transsyst20217216-29.
4. Alikulov, S. R., Kuziev, A. U. Issues of optimisation of routes for transportation by motor vehicles [Voprosy optimizatsii marshrutov perevozki avtotransportnymi sredstvami]. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, 2019, Iss. 8 (54), p. 10. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37347310>. Last accessed 22.05.2021.

5. Bedanokov, M. K., Mashinina, N. G. Information support of the transport logistics centre [*Informatsionnoe obespechenie tsentra transportnoi logistiki*]. *Novie tekhnologii*, 2007, Iss. 3, pp. 114–122. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11693249>. Last accessed 22.05.2021.
6. Filippova, N. A., Karimova, P. A. Organisation of the work of interacting modes of transport according to single technological processes [*Organizatsiya raboty vzaimodeistviyushchikh vidovtransporta po edinyim tekhnologicheskim protsessam*]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2019, Iss. 2, pp. 42–45.
7. Filippova, N. A., Vlasov, V. M. Hierarchical levels of management of a multimodal transport system for transportation of goods from the northern delivery [*Ierarkhicheskie urovni upravleniya multimodalnoi transportnoi sistemoi dlya perevozki gruzov severnogo zavoza*]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2019, Iss. 4 (59), pp. 99–102. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41801838>. Last accessed 22.05.2021.
8. Filippova, N. A., Vlasov, V. M. Methodology for improving efficiency and reliability of the transport and technological multimodal system of the North of Russia [*Metodologiya povysheniya effektivnosti i nadezhnosti transportno-tekhnologicheskoi multimodalnoi sistemy severa Rossii*]. *Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2019, Vol. 22, Iss. 6, pp. 55–65. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-6-55-65.
9. Grachyov, P. P., Kushnareva, I. V. Problems of transport logistics, tasks and principles [*Problemy transportnoi logistiki, zadachi i printsipy*]. Alternative energy sources in the transport and technological complex: problems and prospects for rational use, 2016, Vol. 3, Iss. 1, pp. 383–388.
10. Kurenkov, P. V., Volodin, A. B., Astafiev, A. V. [et al]. Analysis of approaches to determining carrying capacity of transport infrastructure facilities [*Analiz podkhodov k opredeleniyu propusknykh sposobnostei ob'ektov transportnoi infrastruktury*]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Electronic journal*, 2020, Iss. 9, pp. 8–13. DOI: 10.36535/023619142020092.
11. Mamaev, E. A., Valchuk, E. S. Forecasting container turnover in the world's seaports [*Prognozirovaniye konteynerooborota morskikh portov mira*]. *Bulletin of RSTU*, 2016, Iss. 2, pp. 94–100.
12. Solop, I. A., Solop, S. A., Chebotareva, E. A. New end-to-end digital technologies for organising the transportation process [*Novie skvoznie tsifrovie tekhnologii organizatsii perevoznogo protsesssa*]. *Practical value of modern scientific research 2018: Proceedings of international scientific-practical conference, Odessa, April 10–12, 2018*. Odessa, ONMU publ., 2018, Vol. 2, Iss. 9, pp. 30–38. DOI: 10.30888/2415-7538.2018-09-2-024.
13. Chislov, O., Zadorozhnyi, V., Lomash, D., Chebotareva, E., Solop, I., Bogachev, T. Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport. In: Macioszek, E., Sierpiński, G. (Eds.) *Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Cham., TSTP 2020, Vol. 1083, pp. 79–89. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34069-8_7. Print ISBN 978-3-030-34068-1. Online ISBN 978-3-030-34069-8.
14. Filippova, N., Zhukov, A., Bogumil, V., Melnikova, T., Ostroukh, A. Automated Dispatching Control System of Transportation Concrete Products. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, Vol. 14, Iss. 24, pp. 4821–4826.
15. Yakubovich, A. N., Yakubovich, I. A., Trofimenko, Y. V., Shashina, E. V. Intelligent management system of the automobile road's technical and operational condition in the cryolithozone. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2019, Moscow, Russia, 2019*, pp. 1–4.
16. Vlasov, V. M., Linnik, G. D. Ground Urban Passenger Transport in a Period of Digital Transformation. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, 2021, Vol. 9416123*. [Electronic resource]: www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193750284. Last accessed 24.05.2021.
17. Filippova, N. A., Belyaev, V. M., Shilimov, M. V., Koshkarev, P. P., Odinkova I. V. The Analytical Test of Methodological Approaches to the Increasing the Level of Automation of the Basic Functions of the Car Dispatching of the Cargo Delivery to Northern Regions of the Russian Federation. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 2017, Vol. 12, pp. 11532–11535. ISSN 0036-0295.
18. Choudhury, A., Behl, A., Sheorey, P. A., Pal, A. Digital supply chain to unlock new agility: a TISM approach. *Benchmarking – an International Journal*, 2020. DOI: 10.1108/BIJ-08-2020-0461.
19. Filippova, N. A., Belyaev, V. M. Influence of climatic factors on fuel consumption in the North [*Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na rashkod topliva v usloviyakh Severa*]. *Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaistvo*, 2014, Iss. 5, pp. 8–14.
20. Smolyaninova, E. N., Polischuk, E. V. The problem of modern warehouse logistics in Russia [*Problema sovremennoi skladskoi logistiki v Rossii*]. *ANI: Economics and Management*, 2019, Iss. 2 (27), pp. 292–294. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38499924>. Last accessed 24.05.2021. ●

Information about the authors:

Ponomarev, Mikhail L., CEO, IMEXPROFI Ltd., Moscow, Russia, mikhail.ponomarev@mail.ru.

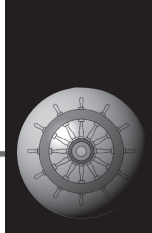
Filippova, Nadezhda A., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Road Transportation of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, umen@bk.ru.

Velikanov, Alexander Yu., student of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, sasha.velikanov@mail.ru.

Neretin, Alexander A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Management of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, neretin_sasha@mail.ru.

Article received 17.08.2020, approved 24.05.2021, updated 17.09.2021, accepted 15.10.2021.





Scheduling of Vehicle Fleet of Oil Products in Intercity Traffic



Lyudmila S. TROFIMOVA



Boris S. TROFIMOV



Natalia V. YANKEVICH

Lyudmila S. Trofimova¹, Boris S. Trofimov², Natalia V. Yankevich³

^{1, 2} Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia.

³ Transportnye resheniya [Transport Solutions LLC], Omsk, Russia.

✉ ¹ trofimova_ls@mail.ru.

ABSTRACT

The objective of the study is to develop a practically applied methodology and a mathematical model that considers the requirements for transportation of dangerous goods, the technical condition of rolling stock, modes of work and rest of drivers on the routes of intercity transportation, customers' requirements, and the interests of the trucking company.

The functioning of motor pool while transporting dangerous goods is presented as the relationship between transportation of goods and performance of technical maintenance.

A proposed approach to planning takes into account the correspondence of the effective number of technical maintenances to the standard required value for a certain period for vehicle fleet carrying out transportation of oil products; compliance of rolling stock output with the volume of oil products that might be delivered and unloaded in the current month; compliance of time of movement of drivers to a specialised resting place on the intercity route with time established for

the modes of work and rest. The mathematical model makes it possible to determine output of the motor pool in each month, considering that transportation of oil products, started last month, ends only in the current one. The mathematical model of operating the vehicle fleet during transportation of oil products includes assumptions related to fulfilment of the requirements for motor pool and the driver, which are specified in the Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, Decision of the Customs Union Commission dated 09.12.2011 No. 877 (revised on 21.06.2019).

Special attention was paid to planning of vehicle operations when volumes of oil products transported are growing during the construction and renewal of roads. The algorithm of the methodology was used to plan operation of motor pool when transporting BND 90/130 bitumen from the city of Omsk in intercity traffic and was the basis for making management decisions on the implementation of the suggested indicators in a motor transport enterprise practice.

Keywords: road vehicles, vehicle fleet, intercity transportation, oil products, mathematical model, technique.

For citation: Trofimova, L. S., Trofimov, B. S., Yankevich, N. V. Scheduling of Vehicle Fleet of Oil Products in Intercity Traffic. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 202–209. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-9>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

The issues referring to planning and organisation of intercity transportation of oil products for construction of roads are relevant in many countries because of widely developed road construction, remoteness of sites of production of road materials from the construction sites, special features characteristic of transportation of such goods.

For instance, in Russia under a currently implemented Development of the transport system Federal program approved by the Government Decree of December 20, 2017, No. 1596, 100 billion roubles have been allocated for construction and reconstruction of roads in the regions of the Russian Federation by the end 2021.

In modern conditions, construction and reconstruction of roads provides for the use of viscous road bitumen (hereinafter bitumen) derived from residual oil products: petroleum bitumen and tar. Bitumen is produced at oil refineries in accordance with GOST [Russian state standard] 22245-90¹. Nine grades of bitumen are used in road construction, each of which belongs to the category of dangerous goods.

Dangerous goods are goods that have such properties that, when performing transportation operations, it is possible to cause harm to the environment, industrial and civil objects, life, and health of people. When transporting dangerous goods, requirements are imposed on availability of specialised vehicles, which should be in a technically sound condition, on packaging and labelling, and loading and unloading operations performed by qualified personnel. When planning operation of vehicle fleet, it is necessary to consider the hazard class of the cargo, operating conditions [1], which lead to accelerated wear of individual units and parts. The economic damage from car accidents with dangerous goods significantly exceeds the amount of damage caused by accidents with other types of transport [2].

To carry out the operations of the transportation process, it is necessary to comply with the requirements of national legislation and of international agreements (Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) (ADR)

and to get a certificate of admission to the carriage of dangerous goods. The transportation of oil products in intercity traffic imposes additional constraints on scheduling of vehicle fleet's operation.

The authors of the paper have studied the practices of transporting oil products, as a result, it was established that, according to the requirements of the customers, each time of parking on the intercity route exceeding five minutes must be agreed upon in advance. Parking lots can only be located within the «road network». When driving, it is forbidden to deviate from the established route, stop outside the timetable, and exceed the speed.

For road transport enterprises (RTE), carrying out transportation of oil products for construction and reconstruction of roads, it is obligatory to strictly comply with the terms of contracts. In case of a violation in terms of transportation, including due to a technical malfunction of motor pool, penalties are provided.

The results of studies of domestic and foreign scientists, practitioners have shown that when transporting oil products by road, tasks of increasing safety of the transport process prevail [3]. J. Flodén, J. Woxenius [4] suggested recommendations on development of a route for transportation of dangerous goods to improve safety of transportation and its coordination with suppliers and customers.

S. V. Kondratov, A. N. Novikov [5] developed methodological aspects of risk analysis in transportation of dangerous goods by road, within the system «man–machine–environment–cargo». The work [6] presents the ranking of risk assessment criteria according to the degree of importance for transportation of oil products by road.

Several scientific research results are devoted to identification of factors affecting performance of vehicle fleet. S. Niu, S. V. Ukkusuri [7] found that road and climatic conditions, traffic flow power and average speed affect the mileage of motor pool.

V. N. Fedotov [8] carried out research to determine output of vehicles when transporting oil products, depending on the distance of transportation, time of loading and unloading operations, the parameters of the traffic flow of the street and road network of the city of Volgograd. In work [9], it is concluded that it

¹ GOST [State standard] 22245-90. Viscous oil road bitumen. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200003410>. Last accessed 25.05.2021.



is necessary to consider seasonal irregularities in transportation of oil products. The studies of S. M. Mochalin, V. A. Radionova [10] are devoted to accounting for probabilistic factors.

Special attention in scientific research is paid to the characteristics of the routes along which dangerous goods are transported. In [11], a plan for transportation of oil products was developed due to grouping of routes, the choice of motor pool.

I. M. Tsarenkova [12] suggested to select vehicle fleet considering its performance and choosing a transportation scheme based on the criterion of minimum costs for transportation of goods during road construction.

N. Holeczek [13] provides a detailed classification of routes to ensure safety. A. Kishore, B. Niels, A. R. Zuidwijk [14] used operations research models to develop rolling stock schedules for specific cargo transportation routes.

Z. Lukai, F. Xuesong [15] proposed an integrated approach to planning, considering risk indicators regarding transportation of dangerous goods in tank trucks and the characteristics of intercity routes. The developed planning algorithm has been practically implemented in some areas of East China.

The work [16] presents a route for transportation of goods using the graphic-analytical method. In [17], it is proposed to pay special attention to assessment of quality of transportation.

In articles [18–20], assessment of the risk for safety of transportation of goods was carried out, based on failures in operation of vehicle fleet, which is studied as a system of interconnected units and assemblies. It is concluded that it is necessary to timely perform technical maintenance of vehicles carrying oil products.

However, modern scientific concepts do not allow a comprehensive approach to solving the planning problem aimed to consider current requirements for transportation of dangerous goods, the technical condition of vehicles, the requirements of customers and the interests linked to RTE activity.

In modern conditions, the solution to the problem of planning the work of vehicle fleet when transporting oil products in intercity traffic is relevant with regard to above requirements.

The *objective* of the study is to develop an algorithm for a methodology for that can be practically implemented and a mathematical model that takes into account the requirements for transportation of dangerous goods, the technical condition of vehicle fleet, the modes of work and rest of drivers on the routes of intercity transportation, the requirements of customers and the interests of the trucking company.

To achieve this goal, the following tasks are solved:

- To develop a mathematical model that reflects functioning of vehicle fleet during transportation of oil products considering several constraints justified by the current legislative documents and the practices of RTE, and that will allow to use profit indicator to select the best value when determining the target indicators.

- To propose an algorithm of the methodology for practical implementation of the mathematical model, which allows making managerial decisions on the use of the planned performance indicators of motor pool when transporting oil products.

The research supposed to approve the developed technique through practical implementation.

The scientific novelty of the study consists in development, based on the study of legislative documents, research of scientists and practitioners, practices of transporting dangerous goods, the concept of current planning of the RTE work, of a mathematical model and methodology that allow planning operation of rolling stock when transporting oil products in intercity transportation.

MATERIALS AND METHODS

The work [21] presents a theoretical and practical toolkit that reflects functioning of specialised vehicle fleet of certain dimensions and types owned by an RTE for fulfilling the terms of contracts for carriage of goods in intercity traffic. The developed concept of the current planning of RTE operations synthesises the methods of the theory of cargo road transportation, the theory of maintenance and repair of motor vehicles. The implementation of the presented methods in the practice of RTE allows the selection of vehicle fleet of RTE, subject to the conditions aimed at meeting the needs of customers and at performing scheduled maintenance.

Table 1

Features of the requirements used as assumptions in the mathematical model
(compiled by the authors)

Name of the document	Characteristics
Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)	Requirements to vehicle fleet in terms of the number of trailers (or semi-trailers), the presence of a certificate of admission to the carriage of dangerous substances and its validity period, the presence of special markings and a flashing light, satellite navigation GLONASS or GPS, certain equipment. Requirements for a driver to possess a certificate (ADR) and other documents, driving experience, work experience, etc.
Decision of the Customs Union Commission dated 09.12.2011 No. 877 (as amended on 21.06.2019) «On adoption of the technical regulations of the Customs Union «On safety of wheeled vehicles» (together with «TR CU 018/2011. Technical regulations of the Customs Union. On safety of wheeled vehicles»)	Requirements for tanks, road tankers, trailers (semi-trailers). Prohibition of installation of additional fuel tanks not provided by the vehicle manufacturer, heaters in the driver's cab and cargo compartments. Special requirements for the service braking system, protection of electrical circuits, the presence of elements of protection against accidental operation, as well as the designation of the switch for disconnecting the battery from the electrical equipment of vehicle, etc.

The work [22] presents a mathematical formula that considers the number of maintenance services for vehicles used in intercity traffic; in studies [23], characteristics of motor pool and requirements for transportation of dangerous goods are described.

In this study, we have developed a mathematical model of functioning of vehicle fleet transporting oil products. The use of the model makes it possible to consider constraints and apply profit indicator to select the best value with regard to the following constraints:

- Correspondence of the number of technical maintenance services of vehicle fleet carrying out transportation of oil products to the standard required value during a certain period.
- Compliance of vehicle fleet's output with the volume of oil products that may be delivered and unloaded during the current month.
- Correspondence of time of movement of drivers when transporting oil products to a specialised resting place on the intercity route with time established for the modes of work and rest.

To construct a mathematical model of functioning of vehicle fleet during transportation of oil products, certain assumptions were introduced related to implementation of the provisions specified in the documents currently in force (Table 1).

THEORY

In the mathematical model, the number of vehicles varies from 1 to X , and work planning

is performed for each unit of vehicle fleet when transporting oil products. As a result of conclusion of an agreement with the customer, a service is provided for transportation along the i -th route of intercity traffic, which has characteristics that determine the possibilities of stopping and parking of vehicles during the driver's rest. Each route corresponds to a specific contract. If several routes are served under a single contract, then the mathematical model provides for summation of indicators (traffic volume, labour intensity of technical maintenance, costs, income and profit) for each route.

To carry out transportation of oil products, it is necessary to ensure the technically sound condition of vehicle fleet, therefore, the mathematical model provides for planning of maintenance services, taking into account the mileage and frequency of these services (formulas (1)–(3)).

The mathematical model allows considering the existing requirements for frequency of scheduled maintenance (formula (1)), the volume of maintenance and repair work (formula (3)), their number (formula (2)) for vehicle fleet carrying oil products.

This study takes into account the peculiarities of formation of the output of vehicle fleet during each month (formulas (4)–(7)). It is possible to increase production in the current month if transportation of oil products, started last month, ends only in the current month (formula (5)).

Formulas (8)–(10) presented in the mathematical model ensure compliance of time of movement of drivers when transporting oil



products to a specialised resting place on the intercity route with the time established for the modes of work and rest. Requirements according to the terms stipulated by customers regarding volume of transported oil products in intercity traffic are presented in the constraint (formula (11)). According to formulas (12)–(14), the profit is calculated to select the best value within the established constraints.

$$N_{TM-1i,x} = \frac{L_{i,x}}{W_{TMi,x}}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (1)$$

$$N_{TMi,x} \geq 2; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (2)$$

$$n_{i,x} = \begin{cases} 1, \text{if} \left\{ \begin{array}{l} (N_{TM-1i,x} \cdot u_{TM-1x}) \geq y_{TM-1i,x}; \\ (N_{TM-2i,x} \cdot u_{TM-2,CRi,x}) \geq y_{TM-2,CRi,x}; \end{array} \right. \\ 0 \text{ otherwise,} \end{cases}$$

$$i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (3)$$

where $L_{i,x}$ is mileage of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, km;

$W_{TMi,x}$ is standard mileage before scheduled technical maintenance of the x -th vehicle, considering operating conditions and natural and climatic conditions when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, km;

$N_{TM-1i,x}$, $N_{TM-2i,x}$ are numbers of impacts for the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, units;

$N_{TM-1i,x} = \text{int}(N_{TM-1i,x})$, $N_{TM-2i,x} = \text{int}(N_{TM-2i,x})$; u_{TM-1x} , $u_{TM-2,CRx}$ – labour intensity of one impact, respectively, for $TM-1$, $TM-2$ and current repair (CR) for the x -th rolling stock when transporting oil products, considering the coefficients for adjusting labour intensity standards, persons·h;

$y_{TM-1i,x}$, $y_{TM-2,CRi,x}$ – required labour intensity, respectively, for $TM-1$, $TM-2$ and CR for the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, persons·h.

$$t_{Ri,x} = \begin{cases} (t_{ci,x} + t_{wli,x}) - t_{Pi,x}, \\ \text{if } WT - \left[\frac{WT - d_x}{t_{ci,x} + t_{wli,x}} \right] \cdot (t_{ci,x} + t_{wli,x}) \geq t_{li,x}; \\ 0, \text{if } WT - \left[\frac{WT}{t_{ci,x} + t_{wli,x}} \right] \cdot (t_{ci,x} + t_{wli,x}) < t_{li,x}, \end{cases} \quad (4)$$

where $t_{Ri,x}$ is time required to complete the ride with a load in the current month of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity traffic, h;

$t_{ci,x}$ is time of movement with cargo of the x -th vehicle when transporting oil products

along the i -th route of intercity communication, h;

$t_{wli,x}$ is time of movement without load of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, h;

$t_{Pi,x}$ is travel time in the previous month for the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, h;

WT is total working time fund, h;

d_x is duration of downtime during maintenance for the x -th vehicle, h;

$t_{li,x}$ is time for loading the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, h.

$$Q_{i,x} = Z_{i,x} \cdot M_{oi,x} \cdot n_{Di,x};$$

$$i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (5)$$

$$n_{Di,x} = \begin{cases} 1, \text{if } t_{Di,x} \geq t_{pi,x}; \\ 0, \text{if } t_{Di,x} < t_{pi,x}, \end{cases} i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (6)$$

$$Z_{i,x} = \left\lfloor \frac{WT - d_x - t_{Di,x}}{2t_{gei,x}} \right\rfloor; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (7)$$

where $Q_{i,x}$ – monthly output of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, t;

$Z_{i,x}$ – number of rides of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, units;

$Z_{mi,x} = \text{int}(Z_{mi,x})$; $M_{oi,x}$ – mass of dispatch of oil products for the x -th vehicle on the i -th route of intercity communication, t;

$n_{Di,x}$ – a Boolean variable of the increase in the output of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, $n_{Di,x} = 0, 1$, $n_{Di,x} = \text{int}(n_{Di,x})$.

$$t_{ci,x} = t_{cdi,x} + t_{spi,x} + t_{gsi,x} + t_{gpi,x} + t_{goi,x}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (8)$$

$$t_{cdi,x} \leq \frac{l_{cdi,x}}{V_{TM}}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}; \quad (9)$$

$$t_{spi,x} \leq \frac{l_{spi,x}}{V_{TM}}; i = \overline{1, I}; x = \overline{1, X}, \quad (10)$$

where $t_{cdi,x}$, $t_{spi,x}$, $t_{gsi,x}$, $t_{gpi,x}$, $t_{goi,x}$ – respectively, time of continuous driving from the beginning of the driver's work, time for movement between special breaks, time of special breaks per shift, time for feeding, the time for the driver's rest for changing the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, h;

$l_{cd, i, x}$ – mileage to the place of stopping (parking) after continuous driving from the start of work of the driver of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, km;

$l_{spl, x}$ – mileage to the place of stopping (parking) after a special break of the x -th vehicle when transporting oil products along the i -th route of intercity communication, km.

$$\sum_{x=1}^X (Q_{i,x} \cdot n_{i,x}) \cdot D_i \geq Q_{req}, \quad i = \overline{1, I}; \quad (11)$$

$$R_i = \sum_{x=1}^X (Q_{i,x} \cdot n_{i,x}) \cdot D_i \cdot T_i, \quad i = \overline{1, I}; \quad (12)$$

$$P_i = R_i - C_i, \quad i = \overline{1, I}; \quad (13)$$

$$E = \sum_{i=1}^I P_i \rightarrow \max, \quad (14)$$

where D_i is planned number of months of work on the i -th route of intercity communication, units;

$D_i = \text{int}(D_i)$; Q_{req} – amount of cargo required by the customer for transportation along the i -th route of intercity traffic, t;

T_i – tariff for carriage of goods along the i -th route of intercity traffic, rub./t;

R_i – result from the carriage of goods along the i -th route of intercity communication, roubles;

C_i – costs of cargo transportation along the i -th route of intercity communication, roubles;

P_i – profit from the carriage of goods along the i -th route of intercity communication, roubles;

E – effect of operation of rolling stock (vehicles) during transportation of oil products in intercity traffic, roubles.

The following conditions are comprehensively implemented in the mathematical model:

- Meeting the requirements for the number of technical maintenance services during a specific time for rolling stock carrying oil products.

- Meeting the requirements for determining the planned volume of cargo transportation in intercity traffic since it can increase in the current month since the loading of oil products was performed in the previous month, and unloading was made in the current month.

- Ensuring the requirements for the work and rest modes of drivers by matching time required to get to a special stopping place and (or) parking of rolling stock on the intercity transportation route within the established time.

RESULTS AND DISCUSSION

An algorithm of the methodology has been developed for practical implementation of the mathematical model, which includes the main stages for determining the planned indicators (Pic. 1).

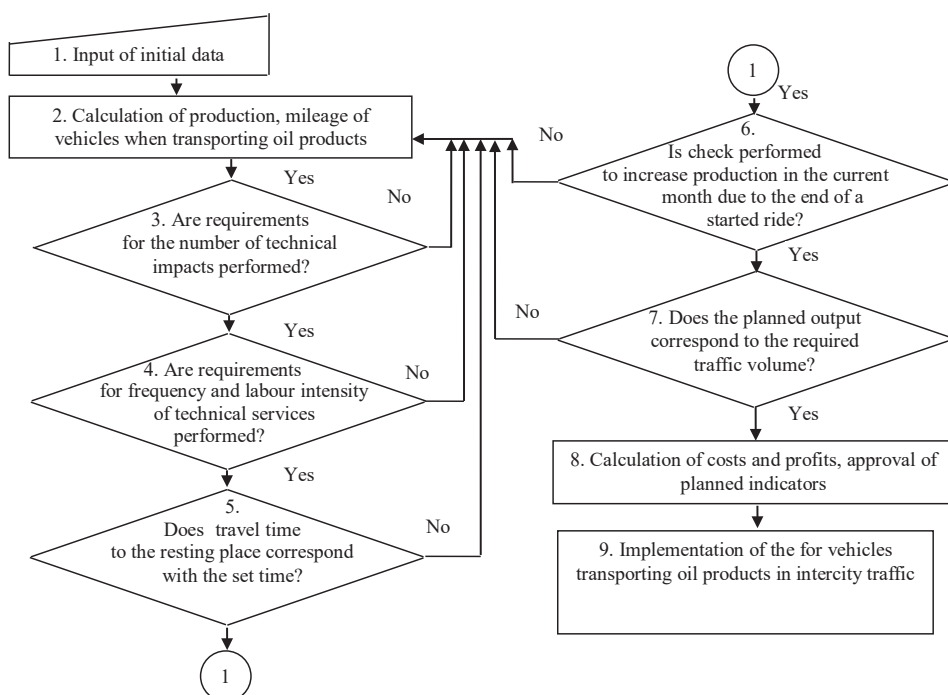
The initial data include information about rolling stock, the requirements of the customers regarding the volume of cargo transportation and tariffs per month, the requirements for the work and rest modes of drivers when transporting cargo in intercity traffic. The initial data contain the values of the distances to the parking lots within the framework of the «road network», which are agreed upon in advance. Time for loading and unloading, average technical speed, the mass of dispatch of oil products along a specific route are the characteristics of the technology for transportation of goods and constitute an obligatory element for calculating the planned indicators.

The practical implementation of the methodology is carried out during intercity transportation of BND 90/130 bitumen from the city of Omsk. The length of the ride with a load is from 820 km to 870 km. Transportation is carried out by Volvo FH12440 truck tractors with a SESPEL-SF3B25 semitrailer. The application of the methodology made it possible to determine the planned indicators per months, considering the need for cargo during this period. In the first working month (March) and the last working month (November), a trip is planned for each unit of rolling stock on intercity routes, considering all the requirements for transportation of dangerous goods. It has been established that 11 units of rolling stock will be required to fulfil the planned volume of transportation (4400 tons). The amount of profit amounted to 10004455 roubles, which is 8,3 % more than the profit obtained when calculating the indicators without taking complex account of the impact of the established requirements for transportation of oil products in intercity traffic.

CONCLUSIONS

This paper presents studies on planning the operation of vehicle fleet within the transport system, characterised by an increase in the volume of transportation of oil products for construction and reconstruction of roads.





Pic. 1. Algorithm of the methodology for scheduling the work of rolling stock when transporting oil products in intercity traffic (compiled by the authors).

A mathematical model of functioning of motor pool transporting oil products has been developed, which makes it possible to determine the planned indicators considering the requirements of the legislation on transportation of dangerous goods, according to the modes of work and rest of drivers on intercity routes, the technical condition of vehicles, as well as the requirements of customers and the results of operation of RTE.

A methodological algorithm for practical implementation of a mathematical model is proposed, which makes it possible to make managerial decisions on the use of planned performance indicators for vehicle fleet when transporting oil products.

The performed studies were transferred for practical implementation to a RTE of the city of Omsk, which carries out intercity transportation of bitumen. Further research will be devoted to development of theoretical provisions for planning the work of vehicle fleet.

REFERENCES

1. Smirnova, O. Yu. Issues of identification of goods during transportation by motor transport [*Voprosy identifikatsii gruzov pri perevozke avtomobilnym transportom*]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2020, Iss. 2, pp. 125–133. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-125.

2. Sinitsyn, V. V., Tatarinov, V. V., Prus, Yu. V., Kirsanov, A. A. Statistics of road transport of dangerous goods and incidents [*Statistika avtomobilnykh perevozk opasnykh gruzov i proissheshtviy*]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2018, Iss. 4 (80), pp. 24–35. DOI: 10.25257/TTS.2018.4.80.24-35.

3. Zhestkova, S. A., Yakunin, N. N., Yakunina, N. V. Improving safety of transportation of oil products by motor transport [*Povyshenie bezopasnosti perevozk nefteproduktov avtomobilnym transportom*]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, Iss. 2 (69), pp. 79–84. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-69-2-79-84.

4. Flodén, J., Woxenius, J. A stakeholder analysis of actors and networks for land transport of dangerous goods. *Research in Transportation Business & Management*, 2021, Article 100629. DOI: 10.1016/j.rtbm.2021.100629.

5. Kondratov, S. V., Novikov, A. N. Expert method of analysis and risk assessment in transportation of dangerous goods [*Ekspertniy metod analiza i otsenki riska pri perevozke opasnykh gruzov*]. *Alternativnie istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsionalnogo ispolzovaniya*, 2016, Vol. 3, Iss. 1 (4), pp. 254–258. DOI: 10.12737/18004.

6. Ovsyannikov, V. E., Shiryayeva, A. N., Dzhinjolava, D. G. [et al]. Improving risk management in the sphere of transportation of oil products [*Sovershenstvovanie upravleniya riskami v sfere perevozki nefteproduktov*]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz*, 2020, Iss. 3, pp. 120–127. DOI: 10.31660/0445-0108-2020-3-120-127.

7. Niu, S., Ukkusuri, S. V. Risk Assessment of Commercial dangerous – goods truck drivers using geo-location data: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 2020, Vol. 137, Article 105427. DOI: 10.1016/j.aap.2019.105427.

8. Fedotov, V. N., Aleksikov, S. V. Research of performance of technological vehicles in transportation of light oil products in urban conditions [*Issledovanie*

produktivnosti tekhnologicheskogo avtotransporta pri perezovke svetlykh nefteproduktov v gorodskikh usloviyakh]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2019, Vol. 13, Iss. 2, pp. 64–68. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10238.

9. Fedotov, V. N. On the issue of seasonal unevenness of cargo transportation by road [K voprosu o sezonnoi neravnomernosti gruzoperevozok avtomobilnym transportom]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*, 2016, Iss. 11 (67), pp. 286–288. [Electronic resource]: <https://web.snauka.ru/issues/2016/11/74971>. Last accessed 21.05.2021.

10. Mochalin, S. M., Radionova, V. A. Assessment of effectiveness of the supply chain based on the theory of fuzzy sets [Otsenka rezul'tativnosti tsepi postavok na osnove teorii nechetkikh mnozhestv]. *Problems of mechanical engineering: Proceedings of V International scientific and technical conference of 2021*. Omsk, Omsk State Technical University, pp. 211–217. DOI: 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-211-217.

11. Popov, D. A., Kuznetsov, O. V., Kulikov, A. V. Improvement of organization of transportation of oil products on the example of technical oils from Volgograd [Sovershenstvovanie organizatsii perezovki neftyanoi produktov na primere tekhnicheskikh masel iz Volgograda]. *Technical sciences: modern research and development: Proceedings of the international scientific and practical conference*, 2018, Irkutsk, pp. 52–61. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35220530>. Last accessed 21.05.2021.

12. Tsarenkova, I. M. Optimization of supply of material resources in the logistics system of road construction [Optimizatsiya postavok materialnykh resursov v logisticheskoi sisteme stroitelstva avtomobilnykh dorog]. *Nauka i tekhnika*, 2017, Vol. 16, Iss. 6, pp. 537–545. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-537-545.

13. Holeczek, N. Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, Vol. 69, pp. 305–328. DOI: 10.1016/j.trd.2019.02.010.

14. Kishore, A., Niels, B., Zuidwijk, A. R. Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2018, Vol. 107, pp. 212–228. DOI: 10.1016/j.trb.2017.10.016.

15. Lukai, Z., Xuesong, F. Planning tank-truck hazardous materials shipments in intercity road transportation networks. *Applied Mathematical Modelling*, 2021, Vol. 89, pp. 1860–1880. DOI: 10.1016/j.apm.2020.09.009.

16. Domke, E. R., Zhestkova, S. A., Podshivalov, S. F. Increasing the efficiency of transportation of oil products by motor transport [Povyshenie effektivnosti perezovki nefteproduktov avtomobilnym transportom]. *Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*, 2012, Iss. 3 (30), pp. 70–74. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17902422>. Last accessed 21.05.2021.

17. Filippova, N. A., Mushta, B. M. On the issue of assessing quality of cargo transportation [K voprosu ob otsenke kachestva gruzovykh perezovok]. *Science and*

education: problems and prospects: Proceedings of XXI All-Russian, with international participation, scientific and practical conference of young scientists, students and pupils, Biysk, Altai State Humanitarian and Pedagogical University named after V. M. Shukshin, 2019, pp. 88–93. [Electronic resource]: http://www2.bigpi.biysk.ru/wwwsite/doc/news/Proceedings_Science_and_Edu_2019.pdf. Last accessed 21.05.2021.

18. Ghaleha, S., Omidvarib, M., Nassiric, P., Momenid, M., Mohammadreza, S., Lavasanie, M. Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). *Safety Science*, 2019, Vol. 116, pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.039.

19. Khusaenov, R. A., Lisin, V. A. Improving the inspection of the technical condition of FL tank trucks [Sovershenstvovanie proverki tekhnicheskogo sostoyaniya avtotsistern FL]. *Actual problems of science and technology through the eyes of young scientists: Proceedings of international scientific-practical conference*, 2016, Omsk, SibADI publ., pp. 401–408. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26160493>. Last accessed 21.05.2021.

20. Altunina, M. S., Varodi, A. P. Prospects for development of transportation of light oil products by road [Perspektivy razvitiya perezovok svetlykh nefteproduktov avtomobilnym transportom]. *Modern applied research: Proceedings of V national scientific-practical conference*. Novocherkassk, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 2021, pp. 116–120. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46255905>. Last accessed 21.05.2021.

21. Trofimova, L. S., Pevnev, N. G. Mathematical model of functioning of a motor transport enterprise when transporting goods in intercity traffic for current planning [Matematicheskaya model funktsionirovaniya avtotransportnogo predpriyatiya pri perezovke gruzov v mezhdugorodnom soobshchenii dlya tekushchego planirovaniya]. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2018, Vol. 22, Iss. 4, pp. 243–252. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-4-243-252>.

22. Trofimova, L. S., Trofimov, B. S., Yankevich, N. V. Planning of maintenance for specialized rolling stock when transporting dangerous goods [Planirovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya dlya spetsializirovannogo podvizhnogo sostava pri perezovke opasnykh gruzov]. *Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations: Proceedings of V international scientific-practical conference*, 2021, Omsk, SibADI publ., pp. 227–231. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44737322>. Last accessed 21.05.2021.

23. Trofimova, L. S., Yankevich, N. V. Planning of transportation of dangerous goods in intercity traffic [Planirovanie perezovok opasnykh gruzov v mezhdugorodnom soobshchenii]. *Education. Transport. Innovation. Construction: Proceedings of II national scientific-practical conference*, 2019, Omsk, SibADI publ., pp. 255–258. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38256837>. Last accessed 21.05.2021. ●

Information about the authors:

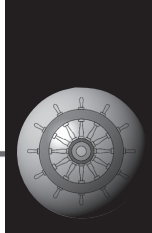
Trofimova, Lyudmila S., D.Sc. (Eng), Professor at the Department of Transportation Organisation and Management of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia, trofimova_ls@mail.ru.

Trofimov, Boris S., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Operation, Maintenance and Repair of Cars of Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia, trofim_bs@mail.ru.

Yankevich, Natalia V., manager of the Department of Operation of Road Transport of LLC Transport Solutions [Transportnye resheniya], Omsk, Russia, natasha.yankevich@mail.ru.

Article received 17.08.2021, approved 22.10.2021, accepted 25.10.2021.





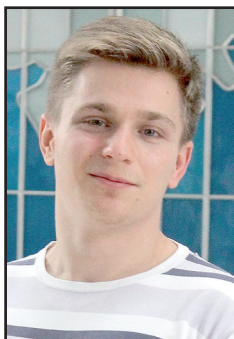
ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-10>

Development of Transport Accessibility and Transport Connectivity of the Black Sea Coast to Increase Mobility of Population and Develop Tourism



Irina O. POLESHKINA



Arkady N. LUTIN

Irina O. Poleshkina¹, Arkady N. Lutin²

^{1,2} *Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia.*

✉ ¹ *ipoleshkina@mail.ru.*

ABSTRACT

Based on the analysis of the route network of railway transport, airports and road traffic, the article provides an assessment of transport accessibility of the resorts of the Black Sea coast aimed at increasing mobility of population and develop tourism. The structure of the tourist flow is considered in the context of the modes of transport. More than 50 % of tourists come to the Black Sea coast of Russia by their own cars, which indicates insufficient use of air transport and leads to an excessive load on the highways and the ecology of Kuban and Krasnodar region.

Polls have shown that the main reasons for the use of road transport by tourists are the lack of direct air transport flights from some major cities in Russia and insufficient transport connectivity within the Black Sea coast. The article defines the directions for opening of new domestic routes from three regional airports. To solve the problem of transport connectivity, it is proposed to develop maritime traffic using hydrofoils, which will increase the mobility of tourists within the coast area and attract additional tourist flow.

Keywords: resorts of the Black Sea coast, transport system, transport accessibility, transport connectivity, air transport, hydrofoils.

For citation: Poleshkina, I. O., Lutin, A. N. Development of Transport Accessibility and Transport Connectivity of the Black Sea Coast to Increase Mobility of Population and Develop Tourism. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 210–217. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-10>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

The Black Sea coast is the location of the largest resorts, namely Adler, Sochi, Tuapse, Gelendzhik, Anapa, Kerch, Feodosia, Sudak, Yalta, Sevastopol, Evpatoria, which are visited yearly by more than 20 million tourists. The demand for tourist services in Russian resorts continues to grow in the context of interruption of a large part of international transport links due to the worldwide spread of coronavirus infection.

Transport links of the regions of the Russian Federation with the Black Sea resorts is carried out by railways, road, and air transport. Air transportation is the fastest and most accessible for tourists from all the regions of Russia. On the territory of the Black Sea coast, air traffic is served by four airports located in the cities of Simferopol, Anapa, Gelendzhik and Sochi.

Even though the air transport is the most convenient, not a large percentage of tourists use its services [1]. Surveys conducted by the authors have shown that the priority use of private cars by tourists arriving at the resort is associated with insufficiently developed transport links between the cities of the Black Sea coast. Using a car simplifies the process of moving between tourist sites in the region and makes the rest more comfortable [2]. This opinion is shared not only by tourists arriving from the Central Federal District, but also from more distant regions. Even cars from the Siberian Federal District can be found on the Black Sea coast. A large flow of tourists arriving in their own cars creates an excessive load on the transport routes of Krasnodar region and Kuban, increases CO₂ emissions and leads to a deterioration of the environmental situation on the coast. The solution to this problem is seen in development of transport connectivity between the resorts of the Black Sea coast and Krasnodar region, which will allow reorienting incoming tourist flows from road to air transport.

RESEARCH METHODS

The study of transport accessibility of the Black Sea coast of Russia was carried out based on an analysis of the route network of interregional railway transport, the current route network of airports and road transport. The analysis of the structure of incoming tourist flows on the coast in the context of the modes of transport used was carried out based on statistical data of the Ministry of Resorts and Tourism of Krasnodar region.

The assessment of transport connectivity of the resorts was carried out based on calculation of the total travel time and the number of required connections of regional public transport routes using the Google Maps Geographic Information System. The travel time is compared to the travel time from the airport to the resort by taxi or private car. Resorts which are not connected at all by passenger transportation were also considered since this hinders the tourist mobility on the Black Sea coast.

International experience of increasing passenger traffic at resort airports is considered using the examples of Bari airport on the northern coast of Italy and Liverpool airport on the northern coast of England. The practices regarding these airports were reviewed based on the final report of the European Commission on regional policy.

RESULTS

Passenger Traffic and Airport Route Network of the Black Sea coast

The busiest airport on the Black Sea coast of Russia is Sochi airport, which is due to the attractiveness of this resort and the proximity of the Republic of Abkhazia, which does not have its own air connection with Russia. Sochi airport ranks 5th in Russia in terms of passenger turnover after the airports of Moscow aviation hub and Pulkovo airport. Simferopol airport is ranked second, Anapa – 3rd, Gelendzhik – 4th. The comparative volume of passenger flows, the number of arrivals and departures, and the breadth of the route network in 2020 are presented in Table 1.

The total volume of passenger turnover arriving on the Black Sea coast by air in 2020 amounted to 6611 181 people. About 50 % of passengers arrived through Sochi airport, and 35 % through Simferopol airport. This is due to the density of the route network of these airports. Sochi Airport serves 9 international destinations and 44 domestic destinations. Simferopol Airport serves 43 domestic routes. Direct air transportation is carried out only between Sochi and Simferopol airports, other airports on the Black Sea coast do not have direct air communication between them. The largest flow of tourists arrives from Moscow, St. Petersburg, and Novosibirsk.

However, the share of air transport accounts for an average of about 55,5 % of tourists arriving in Krasnodar region [3]. The total volume of the



Table 1

Passenger turnover and route network of airports in 2020

Airport	Passenger turnover, persons	Arrived passengers, persons	Departed passengers, persons	Route network of the airport
Gelendzhik	148 374	74 549 (1,1 %)	73 825	<u>5 destinations</u> : Moscow; St. Petersburg; Yekaterinburg; Novosibirsk; Surgut
Anapa (Vityazevo)	1 813 128	922 594 (14,0 %)	890 534	<u>19 destinations</u> : Moscow; St. Petersburg; Yekaterinburg; Novosibirsk; Surgut; Krasnoyarsk; Arkhangelsk; Murmansk; Petrozavodsk; Apatity; Syktyvkar; Nizhny Novgorod; Kostroma; Kazan; Perm; Ufa; Orenburg; Ivanovo; Cherepovets
Simferopol	4 630 569	2 321 290 (35,1 %)	2 309 279	<u>43 destinations</u> : Moscow; St. Petersburg; Yekaterinburg; Novosibirsk; Khabarovsk; Tomsk; Barnaul; Surgut; Novokuznetsk; Omsk; Krasnoyarsk; Irkutsk; Arkhangelsk; Murmansk; Syktyvkar; Magadan; Nizhnevartovsk; Salekhard; Kaluga; Kirov; Kostroma; Ulyanovsk; Noyabrsk; Voronezh; Kazan; Volgograd; Kursk; Cheboksary; Nizhnetskamsk; Perm; Tyumen; Ufa; Orenburg; Chelyabinsk; Ivanovo; Saratov; Lipetsk; Tambov; Cherepovets; Mineralnye vody; Krasnodar; Sochi; Belgorod
Sochi	6 505 301	3 292 748 (49,8 %)	3 212 553	<u>53 destinations</u> : Riga; Dubai; Minsk; Sofia; Tashkent; Aktau; Nur-Sultan; Istanbul; Yerevan; Tel Aviv; Kaliningrad; Moscow; St. Petersburg; Nizhny Novgorod; Chelyabinsk; Yekaterinburg; Novosibirsk; Tomsk; Surgut; Novokuznetsk; Kemerovo; Khanty-Mansiysk; Krasnoyarsk; Arkhangelsk; Murmansk; Syktyvkar; Nizhnevartovsk; Kirov; Kazan; Samara; Cherepovets; Astrakhan; Volgograd; Noyabrsk; Kursk; Nizhnetskamsk; Izhevsk; Penza; Perm; Tyumen; Ufa; Orenburg; Kurgan; Saratov; Saransk; Bugulma; Lipetsk; Tambov; Cherepovets; Mineralnye vody; Krasnodar; Makhachkala; Simferopol; Belgorod
Total	13 097 372	6 611 181	6 486 191	

Table 2

Tourist flow, mln persons*

Years	Krasnodar region	Sochi	Anapa
2016	14,70	5,00	3,70
2017	14,90	6,00	4,50
2018	15,80	6,50	5,00
2019	16,00	6,40	4,98
2020	11,50	5,10	5,00

*The table was compiled based on data of the the Ministry of Resorts and Tourism of Krasnodar region.

tourist flow arriving to the Black Sea coast by all modes of transport is presented in Table 2.

Analysis of the structure of passenger traffic in the context of the modes of transport used showed that the share of tourists arriving on the Black Sea coast by air is 40 % on average. If in Sochi the share of air transport in servicing the tourist flow is quite high and amounts to about 55,5 %, and the rest mainly falls on railway transport (39,1 %), then in the city of Anapa the situation looks different (Pic. 1).

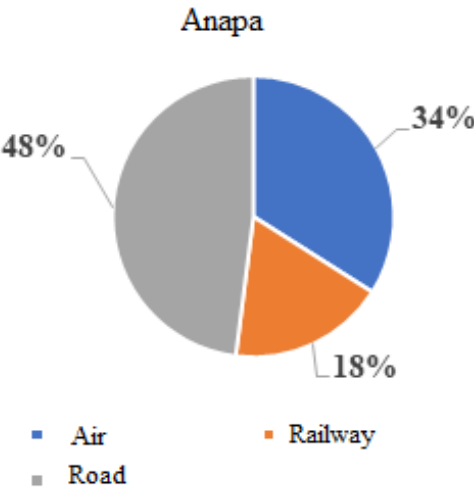
A large share of road transport in servicing incoming tourist flows of Anapa is due to poor transport connectivity of the Black Sea coast resorts, railway stations and the airport network. The analysis of the distance and travel time between individual resorts on the Black Sea coast and airports, using alternative modes of transport, is presented in Table 3. The distance to Gelendzhik airport was not considered due to its very insignificant route network.

It can be seen from the Table 3 that there is no passenger bus service between most of the

Table 3

Distance and travel time between airports and some Black Sea resorts

Route	Distance via highway, km	Travel time by taxi or private car	Travel time by bus (number of changes)	Travel time by rail
Simferopol–Evpatoria	71,0	1 h 24 min	no	no
Simferopol–Sevastopol	87,8	1 h 30 min	5 h 44 min (3 ch.)	5 hours
Simferopol–Foros	109,0	1 h 25 min–2 h	6 h 40 min (3 ch.)	no
Simferopol–Yalta	98,8	1 h 40 min	4 h 20 min (2 ch.)	no
Simferopol–Alushta	65,0	1 h–1 h 50 min	3 h 10 min (2 ch.)	no
Simferopol–Sudak	113,0	1 h 25 min–2 h	no	no
Simferopol–Koktebel	163,0	2 h 10 min–2 h 40 min	no	no
Simferopol–Feodosia	123,0	1 h 20 min–2 h	no	no
Simferopol–Kerch	213,0	2 h–2 h 50 min	no	no
Simferopol–Anapa	334,0	4 h 30 min–6 h 10 min	no	no
Anapa–Kerch	120,0	2 h 20 min–3 h 20 min	no	no
Anapa–Novorossiysk	52,2	55 min–1 h 40 min	no	no
Anapa–Gelendzhik	82,7	1 h 25 min–2 h 40 min	no	no
Anapa–Sochi	330,0	5 h 50 min	14 h (3 ch.)	no
Sochi–Gelendzhik	227,0	4 h 50 min–7 h	no	no
Sochi–Tuapse	144,0	2 h 50 min–4 h 30 min	no	3 h 55 min
Sochi–Sukhum	122,0	2 h–2 h 40 min	5 hours (1 ch.)	7 h 41 min



Pic. 1. The structure of the incoming tourist flow in Anapa in the context of the modes of transport used.

coastal resorts, in principle, and if available, travel time exceeds 4 hours. This limited transport accessibility reduces mobility of tourists within the coastline and forces them to use their own vehicles to travel to the resort. A large share of personal motor transport of visiting tourists creates great tension on the highways of Kuban and Krasnodar region and increases the environmental burden on the region. The development of transport connectivity on the coast will not only solve these problems, but also attract a larger flow of tourists by creating the ability to easily move between the

coastal resorts, making various sightseeing tours, which is especially attractive for foreign tourists.

Analysis of World Practices of Development of Transport Connectivity of Coastal Resort Areas

The sea coastal resort territories all over the world are distinguished by their focus on servicing tourist flows. Some of them are national resorts; some attract tourists from all over the world. Service of the tourist flow of resort areas is carried out, as a rule, by all available modes of transport. Meanwhile, air transport is of



particular importance since it allows getting to the resort as quickly as possible and spending more time on vacation. All airports can be divided into two groups: hub airports, providing wide range of services and serving domestic, continental and intercontinental passenger and cargo transportation with an evenly distributed passenger traffic throughout the year; regional airports connecting regions with centres of economic activity, having seasonal peaks and troughs in passenger traffic [4; 5].

Airports serving resort areas have a pronounced seasonality of peak passenger traffic [6]. The seasonality of loading affects the return on investment in fixed costs. The solution to this problem is to increase income during peak loads by increasing passenger traffic. One of the main solutions to this problem in world practice is the expansion of the route network of resort airports with international and domestic communications [7; 8].

In this study, we reviewed the experiences of Bari Airport on the north coast of Italy and Liverpool Airport on the north coast of England. To increase passenger traffic, three vectors were chosen: development of transport infrastructure connectivity (rail links between the airport and the city); expansion of the region's connectivity with major centres (expansion of the airport route network); development of a transport hub (modernisation of the airport and its passenger terminal). The development of transport connectivity made it possible to increase the airport transport accessibility index of Bari airport. The modernisation of the airport has led to an increase in its capacity, resulting in the growth of annual passenger traffic from 2001 to 2007 by 2 times. Expansion of the route network linking it to the largest centres of Western and Eastern Europe made it possible to attract additional tourist flow, which during the period under review increased by 62 % mainly due to an increase in passenger traffic from Northern Europe using air transport. The opening of new routes was subsidised from the national and regional budgets [9].

Liverpool is not a seaside resort but also serves regional tourist routes. An analysis of the experience of Liverpool Airport also shows that the expansion of the route network and development of charter services has led to a sharp increase in passenger traffic. So, if in 1997 the airport served 3 destinations, then in 2007 it served as many as 60 destinations. The annual

growth rate of passenger traffic during this period amounted to 23,2 % versus 5 % in the UK in general. The structure of passenger traffic was as follows: 63 % – international low-cost air transportation, 16 % – domestic low-cost air transportation; 8 % – domestic full-service air transportation; 1 % – external full-service transportation; 11 % – international charter flights; 1 % – others [8].

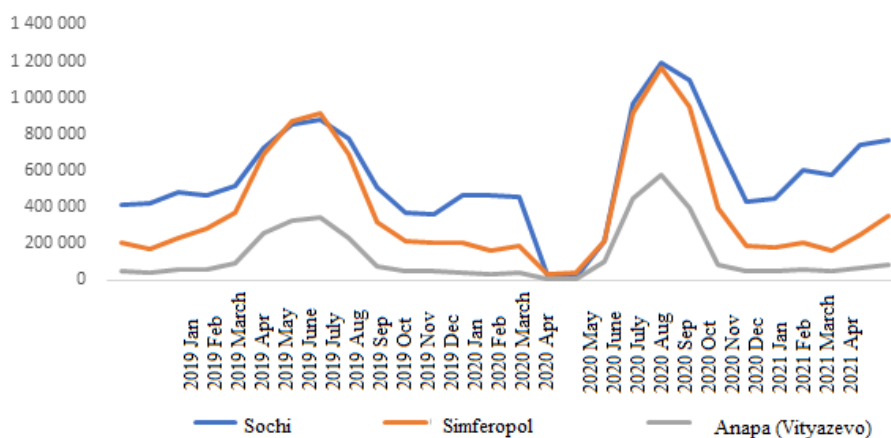
Thus, there are three streamlines for increasing the passenger traffic of resort airports: modernisation of the airport and increasing its capacity; expansion of the domestic and international route network; development of transport links between the airport and the coastal resorts and their transport infrastructure.

Directions for Development of the Route Network of Airports and of Transport Connectivity of the Resorts of the Black Sea Coast

The Concept of the federal target program «Development of domestic and inbound tourism in the Russian Federation (2019–2025)», approved by the Government of the Russian Federation and dated May 5, 2018, No. 872-r, identified 15 promising large-scale tourist investment projects with high potential for expanding tourist proposals for specific priority types of tourism, including the «Black Sea Coast» project [3]. The implementation of projects for development of transport accessibility and transport connectivity of the Black Sea coast of Russia can be invested in the framework of this program.

The peak of passenger traffic in the airports of the Black Sea coast occurs from May to October. The exception is Sochi airport, located near the ski resort, Krasnaya Polyana, Pic. 3.

It can be seen from this graph that the general trend in passenger traffic prevails in all considered airports. In 2020, due to introduction of restrictions on international flights, the tourist flow on the Black Sea coast during the peak season increased at all of the airports under consideration, and in August it turned out to be practically at the same level in Simferopol and Sochi. In 2020, passenger traffic at the airports of Simferopol, Anapa and Sochi amounted to 4,6, 1,8 and 6,5 million people, respectively. At the same time, the capacity of Simferopol airport is 6,5 million people a year, of Anapa airport – 2,6 million people per year, and of Sochi airport – 9,3 million people per year. Consequently, the



Pic. 3. Dynamics of passenger traffic at the airports of the Black Sea coast of Russia, persons.

capacity of the airports under consideration is not a limiting factor in increasing passenger traffic, especially due to the load during off-peak seasons.

To increase passenger turnover, it is proposed to expand the route network of the airports under consideration to large cities in Russia. It is possible to open routes from Sochi to the million-plus cities Volgograd and Voronezh, from Simferopol to Nizhny Novgorod and Samara, from Anapa to Volgograd and Chelyabinsk. It is also advisable to open direct charter flights in the summer to large cities in Siberia and the Far East: Yakutsk, Khabarovsk, and Vladivostok.

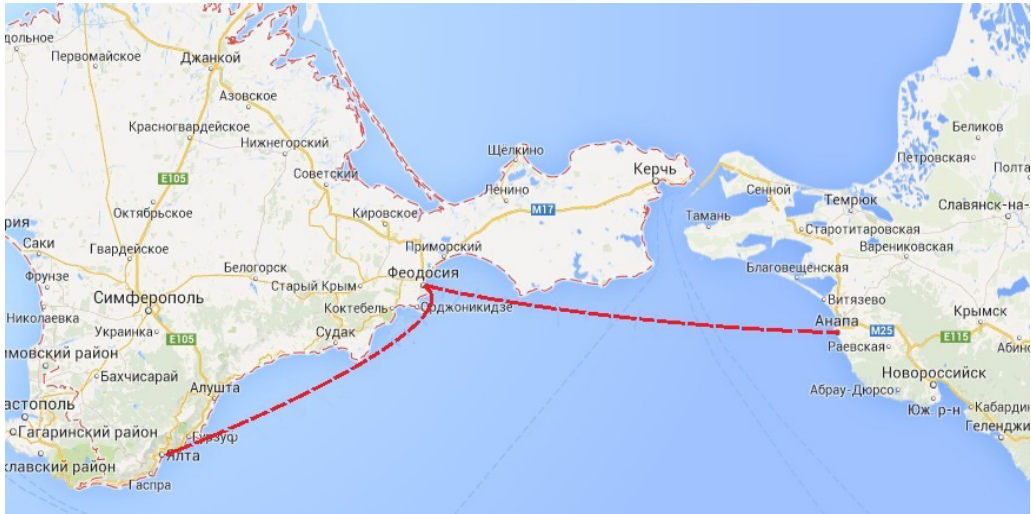
The second, more serious problem referring to increase in passenger traffic at the airports of the Black Sea coast is poor transport connectivity [10]. As a solution to this problem, it is proposed to develop a marine mode of transport based on hydrofoil vessels. Domestic and foreign experience proves the evident efficiency of using hydrofoils to ensure transport mobility of tourists not only on the seacoasts, but also for river transportation [11–13]. When using this type of transport, the travel time, for example, from Feodosia to Anapa will be 1 hour 50 minutes, from Anapa to Sochi – 2 hours 40 minutes, and from Feodosia to Sochi – about 4 hours, which is 4 times faster than provided by the existing bus service. The implementation of this project will have not only great economic importance from the point of view of development of the Black Sea resorts and increasing the attractiveness of air transport for their service, but also social significance. The need for investment will be associated mainly with the acquisition of the

ships themselves since the port infrastructure for servicing local sea traffic in large coastal resort cities already exists (Sochi, Gelendzhik, Anapa, Kerch, Feodosia, Yalta, Balaklava, Sevastopol). Besides; hydrofoil vessels will reduce the time required to travel to Abkhazia and create conditions for increasing tourist mobility within the coastal area. All this, in addition to attracting an additional tourist flow, will reduce the proportion of tourists coming to the coast by their own car, reduce the load on the transport routes of Krasnodar region and Kuban, and improve the environmental situation in the region. Currently, there is an opportunity to get by sea to various resorts of the Black Sea coast, for example, daily sea vessels go from Anapa to Feodosia and Yalta. The length of the sea routes is 250 and 150 km respectively. But, since these flights are sightseeing, their average speed is 43 km/h. Travel time from Anapa to Feodosia is 3,5 hours, Pic. 3 [14].

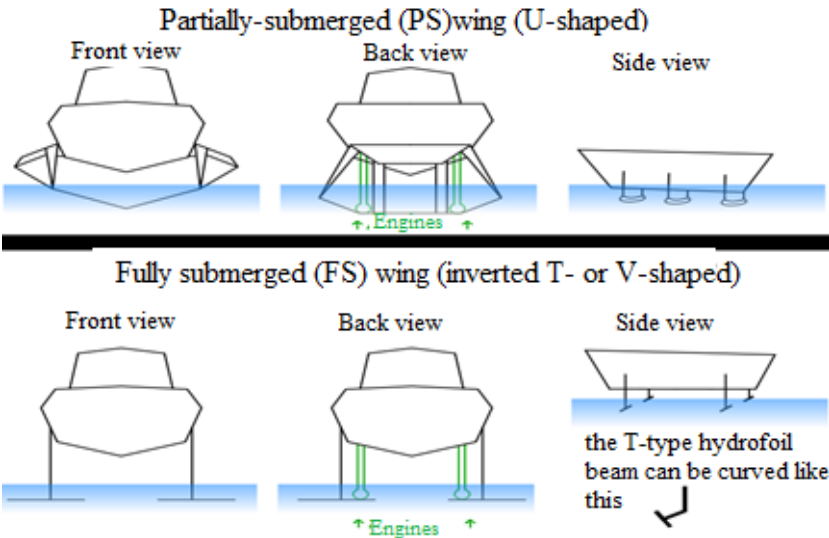
The advantage of hydrofoils is that they are supported above the water surface by the hydrodynamic forces of the hydrofoils, Pic. 4.

The wings under the ship's hull create lift forces that lift the ship above the surface of the sea water, which leads to a significant decrease in resistance to movement. This allows this type of vessel to develop a speed that is unattainable for motor ships. The economically feasible speed of movement of the vessel on the underwater wings is limited to about 100 km/h [15]. This constraint is due to the problem of cavitation, which is the process of bubble formation in an aqueous medium, followed by the collapse of bubbles and the release of a large amount of





Pic. 4. Existing sea routes between the cities of the Black Sea coast.



Pic. 5. The scheme of movement of the hydrofoil vessels.

internal energy, which arises as a consequence of external physical influences. Cavitation of submerged wing sharply reduces the hydrodynamic characteristics of the vessel [16; 17].

Hydrofoils are widely used today in several European countries. For example, these ships have been actively plying between Kaliningrad and the Polish cities of Frombork and Elblag. This line has been mainly operated by the Polish counterparts. In Asia, the most popular sea line connects the Korean city of Busan and the Japanese city of Fukuoka. There are five flights

per day along this line [18; 19]. The positive experience of operating hydrofoil vessels for servicing the seacoasts proves the need for a phased introduction of this type of vessel into the permanent operation of sea terminals.

BRIEF CONCLUSION

Analysis of international and Russian experience allowed to reveal main trends of development of transport accessibility of resorts of Black Sea coast to increase transport mobility of population, develop tourism and create for it more comfortable conditions, to identify

promising character of development of air transportation and greater connectivity of coastal resorts with water transport at the expense of redirecting tourists from the use of personal cars, to suggest new destinations from three regional airports. To solve the problem of transport connectivity, it was proposed to develop sea transportation with the help of hydrofoil vessels that will allow to increase tourist mobility within the coastal area and to attract extra tourist flows.

REFERENCES

1. Statistics and dynamics of development of the tourist and recreational system of the region: Krasnodar region: Monograph [Statistika i dinamika razvitiya turistsko-rekreatsionnoi sistemy regiona: Krasnodarskiy kraj: Monografiya]. Team of authors; ed. by Maximov, D. V. Krasnodar: Kuban State University; Prosveshchenie-Yug publ., 2016, 184 p.

2. Kormishov, A. Yu., Levchenko, T. P. Features of development of active types of tourism in Krasnodar region [Osobennosti razvitiya aktivnykh vidov turizma v Krasnodarskom krae]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekenomika*, 2020, Iss. 3, pp. 11–21. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.3.32968.

3. Branzia, R. L. Organisation of high-speed railway passenger traffic in the direction of the South of Russia as one of the vectors of development of tourist potential [Organizatsiya skorostnogo zheleznodorozhnogo passazhirskogo soobshcheniya v napravlenii Yuga Rossii kak odin iz vektorov razvitiya turistskogo potentsiala]. 26th meeting of the open interuniversity scientific and practical seminar «Economics of Railway Transport», Moscow, May 25, 2021. Institute of Economics and Regulation of Infrastructure Industries, National Research University – Higher School of Economics. [Electronic resource]: <https://ur.hse.ru/data/2021/05/20/1434675973/%D0%90%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.pdf>. Last accessed 15.09.2021.

4. Beifert, A. Business development models for regional airports – case studies from the Baltic Sea region. *Journal of security and sustainability issues*, 2015, Vol. 5, Iss. 2. DOI: [http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2\(6\)](http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2015.5.2(6)).

5. Postorino, M. N. Development of region airports: Theoretical analysis and case study. Southampton, WIT Press, 2010, 192 p.

6. Ivanov, V. N. About the airports of Russia [Ob aeroportakh Rossii]. *Prostranstvo i vremya*, 2013, Iss. 3 (13), pp. 118–122.

7. Regional Airport Case Study. Liverpool John Lennon Airport. European Commission Directorate General for Regional Policy Evaluation unit. London: Steer Davies Gleave, 2009. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/pdf/expost2006/wp5a_airports_case_en.pdf. Last accessed 15.09.2021.

8. Banno, M., Mutinelli, M., Redondi, R. Air Connectivity and Foreign Direct Investments. The economic effects of the introduction of new routes. University of Brescia, 2011, pp. 355–363.

9. Regional Airport Case Study. Bari. [Electronic resource]. Italia: European Commission Directorate General for Regional Policy Evaluation unit, 2009. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/pdf/expost2006/wp5a_airports_case_en.pdf. Last accessed 15.09.2021.

10. Sellner, R., Naglb, P. Air accessibility and growth. The economic effects of a capacity expansion at Vienna International Airport. *Journal of Air Transport Management*, 2010, Vol. 16, pp. 325–329.

11. Nikitina, A. Yu., Urtmintsev, Yu. N. Substantiation of the sphere of rational use of high-speed hydrofoils [Obosnovanie sfery ratsionalnogo ispolzovaniya skorostnykh sudov na podvodnykh kryliyakh]. In: *Transport: problems, goals, prospects (TRANSPORT 2021). Proceedings of II All-Russian scientific and technical conference with international participation*. Ed. by E. V. Chabanova. Perm, 2021, pp. 618–622.

12. Domnina, O. L., Ivanov, M. V., Mitroshin, S. G., Isanin, K. A. Substantiation of organisation of high-speed water transportation of passengers in Privolzhsky Federal District [Obosnovanie organizatsii vysokoskorostnykh vodnykh perevozo passazhirov v Privolzhskom Federalnom okruge]. *Bulletin of Volga State Academy of Water Transport*, 2018, Iss. 57, pp. 191–199.

13. Perederiy, M. V., Gasanov, B. G., Verentsova, E. A. Sea and river transportation as a vector for development of the region’s transport system [Morskie i rechnie perevozki, kak vector razvitiya transportnoi sistemy regiona]. In: *Transport and logistics: innovative infrastructure, intelligent and resource-saving technologies, economics and management. Collection of scientific works of II international scientific and practical conference*, 2018, pp. 26–29.

14. Lutin, A. N. Development of transport connectivity between resort airports in the south of Russia [Razvitie transportnoi svyazannosti mezhdurortnymi aeroportami yuga Rossii]. In: *Reforms in Russia and management problems – 2020. Proceedings of the 35th All-Russian Scientific Conference of Young Scientists. Collection of reports of students in master’s programs*, 2020, pp. 177–181.

15. Mukhina, M. L. Driving characteristics and the problem of reducing fuel consumption of hydrofoils [Khodovie kharakteristiki i problema umensheniya raskhodov topliva u sudov na podvodnykh kryliyakh]. *Transportnie sistemy*, 2018, Iss. 4 (10), pp. 37–42.

16. Andrianov, L. V., Mukhina, M. L. Vessels on hydrofoils at a turning point in their history [Suda na podvodnykh kryliyakh na perelomnom etape svoei istorii]. *Morskoi vestnik*, 2013, Iss. 4 (48), pp. 040–044.

17. Bolotin, A. A. Computational research of hydrofoil controllability [Raschetnie issledovaniya upravlyaemosti sudov na podvodnykh kryliyakh]. *Transportnie sistemy*, 2017, Iss. 2 (5), pp. 23–29.

18. Lyubimov, V. I., Ronnov, E. P., Malyshekin, A. G., Baryshev, V. I. Current state, development trends and commercial use of high-speed ships [Sovremennoe sostoyanie, tendentsii razvitiya i kommercheskogo ispolzovaniya skorostnykh sudov]. *Sudostroenie*, 2019, Iss. 5 (846), pp. 13–18.

19. Kaminskiy, V. Yu., Skorokhodov, D. A., Starichenkov, A. L. Analysis and prospects for development of high-speed ships [Analiz i perspektivy razvitiya skorostnykh sudov]. *Morskie intellektualnie tekhnologii*, 2018, Iss. 3–1 (41), pp. 10–20.

Information about the authors:

Poleshkina, Irina O., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Organisation of Air Transportation of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, ipoleshkina@mail.ru.
Lutin, Arkady N., Master student, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia, lutinarkady@yandex.ru.

Article received 07.07.2021, approved 04.09.2021, accepted 04.10.2021.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-11>World of Transport and Transportation, 2021,
Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 218–224

Features of Development of Route Networks of Public Urban Passenger Transport in Russian Monotowns: the Case of the City of Nizhnekamsk



Valery N. MYACHIN



Lenar R. AKHMETOV



Vladimir V. SHULYAEV



Mikhail G. KONDRASHKIN

Valery N. Myachin¹, Lenar R. Akhmetov², Vladimir V. Shulyaev³, Mikhail G. Kondrashkin⁴

^{1, 3, 4} Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia.

² Executive Committee of Nizhnekamsk Municipal District for Economic Development and Project Management, Nizhnekamsk, Russia.

✉ ¹ vmachin@ipr.ru.

ABSTRACT

Currently, improvement of public transport of general use is among priority areas for development of urban transport systems. Convenient public transport routes, combined with modern rolling stock and a developed transport infrastructure, allow solving most transport problems and ensure high mobility of residents and guests of a city.

The objective of the research, main results of which are described in the paper, was to build an efficient urban public transport network in monotowns of Russia to ensure sustainability of functioning of public passenger transport intended for general use. The article presents an option for solving the problem of functioning of public transport in single-industry towns.

Very often, in such cities (with enterprises pronouncedly influencing urban planning), there are two mutually exclusive transport networks, namely, municipal one and contracted one (contracted by an enterprise and intended for shift rotation). As a result, contracted routes are not optimal, municipal carriers suffer losses, transport companies do not meet the schedule, switch to a less capacious type of vehicles, and consequently people are dissatisfied with the work of public transport in the city.

To solve these problems, it is proposed to combine the municipal and contracted networks into a single transport network of the city.

Keywords: public transport, monotown, single-industry town, shift rotation routes, industrial zone.

For citation: Myachin, V. N., Akhmetov, L. R., Shulyaev, V. V., Kondrashkin, M. G. Features of Development of Route Networks of Public Urban Passenger Transport in Russian Monotowns: the Case of the City of Nizhnekamsk. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96). pp. 218–224. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-11>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Currently, in many countries of the world much attention is paid to the prospects for development of public transport in cities. The Russian Federation makes no exclusion.

In recent years, the structure of demand for passenger transportation has changed significantly. This is due to the processes of socio-economic development, which have caused the emergence of new objects and areas of attraction of passenger flows, including industrial, shopping, entertainment, tourist, sports, and business centres, as well as to changes in the behaviour of residents and guests of the cities, affecting the number and purpose of travelling.

In the Russian Federation, as probably in all the countries, the transport system should not only fulfil a social function, but also be profitable or cost effective. However, in all developed countries, public transport is unprofitable. The real incomes of public transport as compared to its costs constitute in Switzerland 72 %, in Great Britain 68 %, in Italy 30 %, in the Netherlands 22 % [1].

Among all cities in Russia, the so-called monotowns or single-industry towns with a city-forming enterprise can be distinguished into a separate group that merits special analysis.

This article according to the objective of the research presents an option for development of public transport in single-industry towns in Russia, describes the main problems of development of urban passenger transport in Russian monotowns using the example of the city of Nizhnekamsk, and also contains proposals for construction of a new efficient urban passenger transport network intended for public use and ensuring sustainable functioning of public passenger transport.

RESULTS

The creation of an efficient transport system of a city in the Russian Federation, as elsewhere in the world, is a complex systematic problem, which includes several tasks, among which one can single out: identification of routes of urban passenger transport (UPT) [2], substantiation of the type, kind and number of vehicles for each route, development of a timetable and of a financial model of the project, etc. [3].

Decisions on optimising route networks in various Russian cities are made differently, depending on the specifics of a particular city, on the condition and development of transport

infrastructure, urban public transport, and other factors.

Monotowns should be analysed like a special case. The concept of monotown or of single-industry town (city) means a settlement that depends on a single enterprise or several large enterprises in terms of employment of the population. Such enterprises are also known as «city-forming» enterprises. Such an organisation of resettlement became widespread in the USSR and continues to this day. Monotowns ensure the optimal development of territories of various administrative levels. They function under the conditions of increased socio-economic risks: during the periods of economic upturn, single-industry towns ensure the growth and development of production, but during the crisis they are the first to become its «victims» [4].

Monotowns also exist in other countries. In the United States, the example of the city of Maynard, Massachusetts, can be mentioned. Initially, a city was formed under the influence of a textile factory, and then, because of its transformation, the city became location of the headquarters of the world's largest computer manufacturers [5]. In Canada, such cities might include Forges Saint Maurice or Garden Island. However, it should be noted that the experience of building monotowns in other countries was rather negative.

Currently, in Russia, the city of Nizhnekamsk is among most eloquent examples of monotowns. Its territory comprises an industrial zone, hosting city-forming enterprises of TATNEFT Group of companies and of PJSC SIBUR-Holding.

When analysing the existing situation in the field of public transport, it was revealed that two systems operate in parallel in the city:

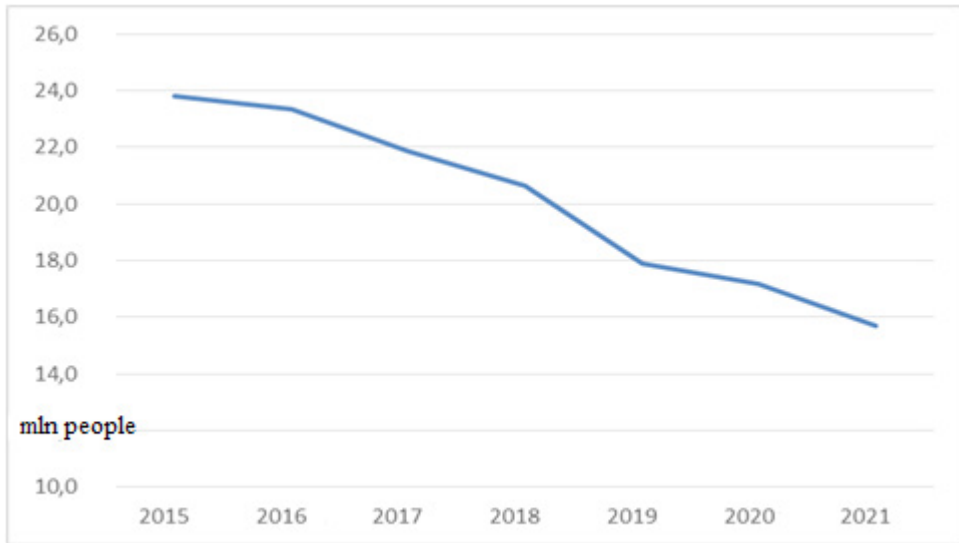
- The first transport system operates exclusively in residential areas and serves the so-called *urban routes*. This system is represented by four tram and ten bus routes.

- The second transport system moves employees to the industrial zone serving the so-called *contracted routes*. This system is represented by three tram and 67 bus routes.

Each system solves its own problems and does not consider the peculiarities and positive aspects of the other system.

The system of urban routes is quite developed in residential areas. Bus routes run along almost all streets of the city. Tram routes run along the main arterial streets and connect the most important destinations in the city.





Pic. 1. The level of passenger turnover in the city of Nizhnekamsk (2015–2021) (performed by the authors based on data provided by the Executive Committee of Nizhnekamsk municipal district).

The system of contracted routes is not optimal, because each company orders routes for its needs from third-party companies, and there is an increased level of duplication with the routes of other companies. In fact, businesses pay for the same routes, while the total amount of transport vehicles is excessive.

Contracted routes for all passengers are free, for city residents it is a big plus, because if the route of the city and the contracted route coincide, residents of the city have the chance to use the free contracted route within a short distance in the city and not to pay for urban public transport.

Obviously, with such a coincidence, city residents choose free (contracted) routes. However, if the itineraries of city residents do not coincide with the contracted routes, they must wait and use only city public transport.

Since city routes are underutilised during peak hours, due to the outflow of passengers to contracted routes, city carriers are forced to increase the intervals between vehicles, to change type of vehicle fleet switching to less capacious one.

Currently, the average interval between urban buses is about 45–60 minutes, which is unacceptable for the city of Nizhnekamsk.

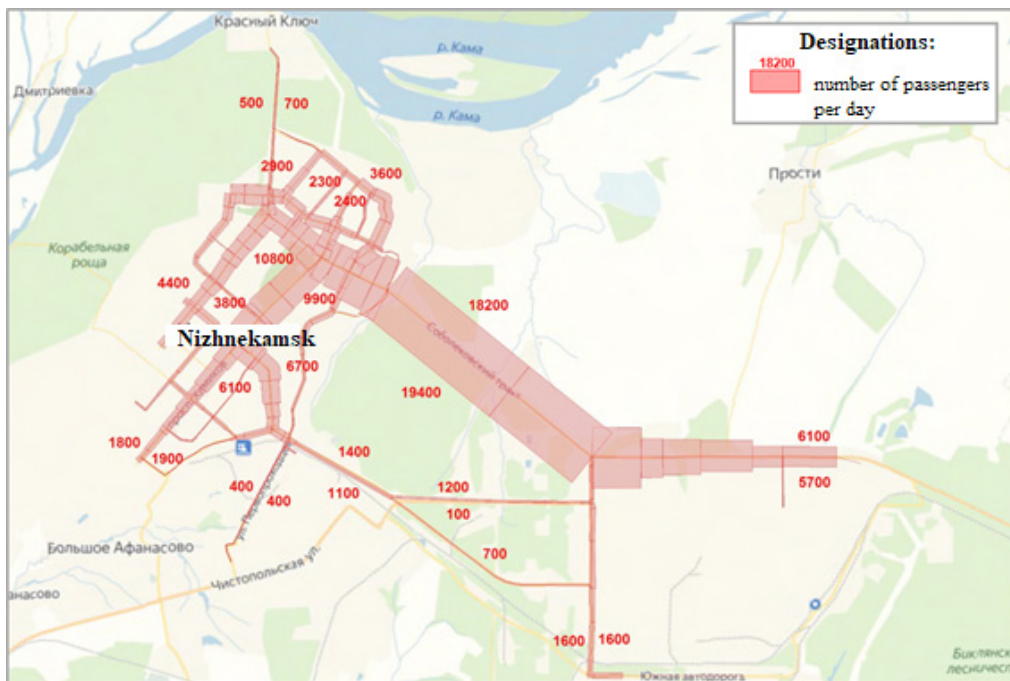
As a result, in recent years, the volume of passenger traffic served by public transport in the residential area has fallen by more than 25 % and continues to decline (Pic. 1).

The main tasks of development of route networks of public urban passenger transport, both in single-industry cities and in other cities of Russia, are:

- Systematic analysis [6] of a city's route network.
- Organisation of surveys of passenger traffic on passenger transport routes.
- Organisation of sociological survey to identify transport needs and problems of transport services for the population.
- Formulation of proposals for creation of an efficient system of public passenger transport.
- Development of a transport model of the project.
- Development of a financial model of the project.
- Preparation of a plan for implementation of a new route network.

At the initial stage, it is necessary to analyse operation of the city's route network. Unlike other cities in Russia, in single-industry cities, it is necessary to analyse the work of not only municipal, but also of contracted (intended for shift rotation) transport since a significant share of transportation will be transportation of workers of city-forming enterprises to and from work.

Next, it is necessary to conduct a survey of passenger traffic on the routes of municipal and contracted transport for a more detailed analysis of the current situation in the city's transport industry.



Pic. 2. The number of passengers carried per day per sections (carried out by the authors based on the results of transport surveys in 2019).

Transport surveys can be carried out both at stopping points and inside the rolling stock using sensors for the entry and exit of passengers or with the help of meters, and it is also possible to use a combined survey method.

At present, public transport is mostly not equipped with sensors for entry and exit of passengers, and attraction of accounting personnel requires many people. In this regard, the most preferable is the combined survey method.

The combined survey method is less costly than the on-board survey method. And the quality of the received data on passenger traffic is sufficient for analysis, decision-making and planning of development of passenger transport in the future.

When conducting a visual inspection at stopping points, all passenger vehicles are recorded, including contracted and illegal ones. The counters visually determine the filling of the vehicle according to the conditional point table [7], as well as the number of passengers entering and leaving.

In single-industry cities, surveys inside rolling stock must be carried out both on municipal routes and on the routes of contracted vehicles.

Not all enterprises can agree that sensors for entry and exit of passengers are installed in their vehicles or that there is a meter in the rolling

stock. This can be due to many factors, particularly to the fact that the transportation for enterprises should be carried out by buses intended exclusively for sitting, and the occupancy of buses can be 100 %.

In this case, it is necessary to conduct surveys at stopping points, both in the city and in the industrial zone.

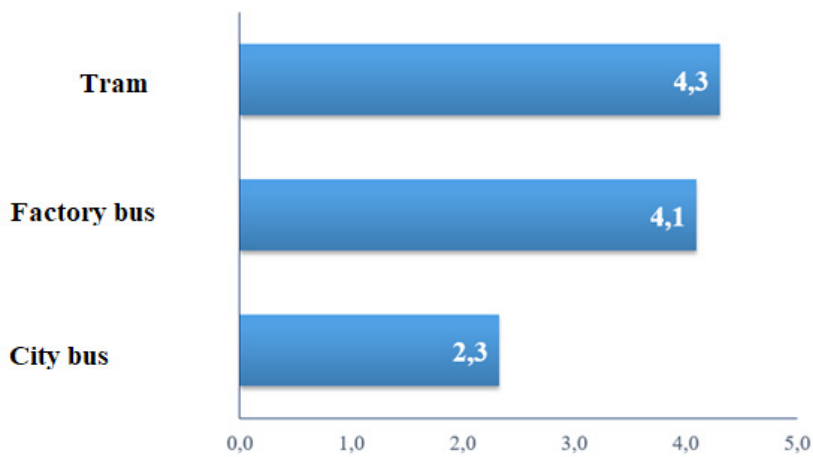
Surveys at stopping points are usually carried out during the morning, afternoon, and evening rush hour.

In monocities, in most cases, industrial enterprises start working earlier than enterprises, institutions and social facilities in the residential area of the city. In this case, this feature should be taken into account, and surveys should be carried out not within an hour, but within several hours, i.e. peak hours, both in residential and industrial areas.

When determining the stopping points for inspection in an industrial zone, it is necessary to pay attention to the stopping points located in the area at the proximity to checkpoints and, if possible, conduct examinations at them, as they are the busiest stopping points.

In Nizhnekamsk, surveys were carried out both inside the rolling stock and at stopping points. Transport survey data showed that the main passenger traffic is observed between the city and the industrial zone (Pic. 2).





Pic. 3. Assessment of quality of work of passenger transport (compiled by the authors based on the results of a sociological survey in 2019, 5-point scale).

When conducting a survey for this study, the main feature was that it was necessary to interview users, both of public and contracted vehicles. This is necessary to obtain up-to-date and objective information. When polling, for example, only users of municipal transport, it is possible to get a large number of negative reviews, and when polling users only of contracted transport, most responses may be positive.

According to a sociological survey, the population of the city of Nizhnekamsk is satisfied with the work of trams and contracted buses and is not satisfied with the work of city buses (Pic. 3).

The main problems in the work of Nizhnekamsk city bus transport are non-observance of the schedule and long intervals between the vehicles.

The respondents were also asked the question: «Under which circumstances are you ready to switch from personal to public transport»? About 40 % of the respondents answered that they are ready to switch to public transport, provided that its performance improves (Pic. 4).

Thus, the survey showed that almost half of the city's population is ready to switch to public transport if its work is normalised.

DISCUSSION

The basis of the revenue part of passenger traffic in all cities of the Russian Federation is travelling for work purposes, namely travel to and from work. The income part from social transportation is usually not enough to pay for capital costs [8].

For the majority of single-industry cities, another feature is that the basis of passenger transportation is made up of trips to the industrial zone, and all of them are not municipal, but contracted routes. For example, in Nizhnekamsk, their share reaches half of all traffic in the city.

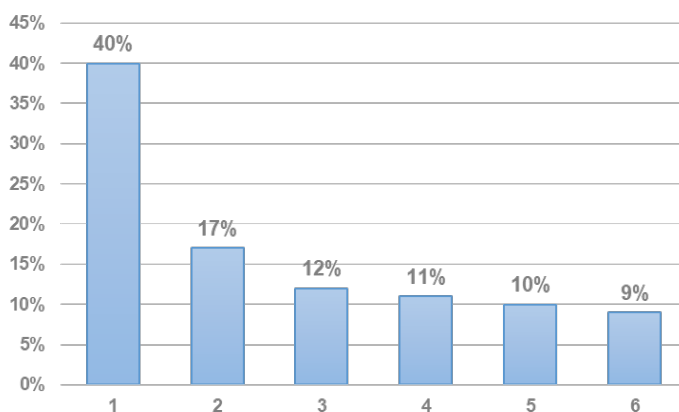
In addition, most enterprises transport their employees to work in soft-seated buses. An industrial zone, as a rule, is located either within the city limits, or at a short distance from it (about 10 km). With an average bus speed of 25–30 km/h, the travel time takes no more than 20–25 minutes one way, which is acceptable for organising movement of city buses with standing places.

As a result, municipal transport incurs colossal losses estimated at hundreds of millions of roubles.

Thus, the main idea of building an efficient system for operation of passenger transport in single-industry towns is to combine contracted and urban networks into a single system of public passenger transport in order to increase the efficiency of public transport and its attractiveness for passengers thanks to the quality of services provided [9].

As a result, it is quite possible to organise the work of urban passenger transport without deteriorating the work of contracted routes, and this will not require additional investments both from the city-forming enterprises and from the city budget.

As a result of such a merger of the networks of contracted and municipal routes, the mileage



Pic. 4. Conditions for switching to public transport (compiled by the authors based on the results of a sociological survey in 2019):
 1 – When operation of public transport improves.
 2 – Under no circumstances.
 3 – Under other conditions.
 4 – Travel time by car will start to exceed travel time by public transport.
 5 – The cost of gasoline will rise.

of rolling stock will be reduced; the total number of vehicles on city streets will also diminish, the number of passengers will grow, the number of journeys and the cost of transportation will reduce, while resulting in profitability of municipal transportation.

At present, the administration of the city of Nizhnekamsk, together with PJSC TATNEFT, is working on implementation of a project to introduce a new optimised route network. The Centre for Dispatching and Organisation of Passenger Transportation has been created and started work, development of the transport and financial model of the project has been completed, the mechanism of interaction with the operator of «Social Card» [for beneficiaries of social allowances and discounts] has been worked out, as well as the mutual settlements of commissioners and contractors. In addition, a test bus route to the industrial zone was launched, operating without a conductor, with installed payment terminals and cameras for counting passengers.

For successful and sustainable functioning of the new route network, it is necessary to additionally perform some steps:

- To create a structure of the organising body of transportation, which will perform the functions of planning, monitoring, and control of implementation of urban passenger transportation.
- To introduce a single tariff for the new transport network.
- To create a single operator of automatic fare collection.

- To change the organisation of traffic at several intersections in the city.

- To organise a dedicated lane on the route to the industrial zone.

Those suggestions could be additionally substantiated.

One of the main conditions for functioning of the new route network is introduction of a single tariff on all public transport routes and organisation of a single operator of automatic fare collection. When organising a single operator, it is necessary to create an automated fare payment system and equip transport with the necessary equipment.

The main advantages of creating the structure of a transport organising body are:

- Monitoring and control over the execution of municipal contracts for passenger transportation.
- Operational management of passenger traffic.
- Development of comprehensive proposals for development of urban passenger transport.
- Provision of information services.

One of the advantages of this system is introduction of a universal ticket, which can be used both on contracted buses and on municipal routes within the city.

Besides, the city will be able to optimise public transport costs, and carriers will be able to equip vehicles with on-board devices for calculating passenger traffic, and, therefore, will be able to control fares and increase the company's revenue.



The industrial zone of Nizhnekamsk is located at an insignificant distance from the city, about ten kilometres. In case of emergency situations such as traffic accidents, road repairs, etc. traffic jams are formed at the entrance to the industrial zone. To increase the attractiveness of public transport as compared to personal, it is proposed to organise a dedicated lane to the industrial zone of the city. The organisation of a dedicated lane is a very effective method of ensuring traffic safety, contributing to a significant decrease in delays and an increase in the transit capacity of the carriageway [10].

CONCLUSION

If this development option is implemented, the main positive result for the population will be a reduction in travel and waiting time, increase in the availability of public transport and the quality of passenger service.

The positive aspects for the city will be the ability to monitor and manage operation of public transport in real time, improve the environmental situation, reduce the burden on the city budget and, as a result, increase the attractiveness of the city.

For carriers, the indisputable advantages will be an increase in profits from transportation, a decrease in costs and an increase in the priority for public transport traffic.

As a result, the enterprises of the industrial zone will save money and improve the quality of services. In addition, it will affect the image of the companies as well since the population of the city will see that the management of the enterprises really cares not only about their employees, but also about their family members and residents of the entire city.

REFERENCES

1. Guketlev, Yu. Kh., Tkacheva, Ya. S., Guketlev, E. Yu. Foreign experience in development of urban passenger transport [Zarubezhniy opyt razvitiya gorodskogo passazhirskogo transporta]. *Novie tekhnologii*, 2016, Iss. 4, pp. 27–32. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28096758>. Last accessed 18.10.2021.
2. Gorev, A. E. Fundamentals of the theory of transport systems: Study guide [Osnovy teorii transportnykh sistem: Ucheb.posobie]. St. Petersburg, SPbGASU publ., 2010, 214 p. ISBN 978-5-9227-0266-9. [Electronic resource]: https://www.spbgasu.ru/documents/docs_231.pdf. Last accessed 18.10.2021.
3. Martynova, Yu. A. Formalisation of the problem of organising route networks of urban passenger transport [Formalizatsiya zadachi organizatsii marshrutnykh setei gorodskogo passazhirskogo transporta]. *Naukovedenie*, 2014, Iss. 6, pp. 1–13. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/formalizatsiya-zadachi-organizatsii-marshrutnyh-setey-gorodskogo-passazhirskogo-transporta/viewer>. Last accessed 18.10.2021.
4. Ishchenko, A. I. Features of monocities of the Russian Federation and their main problems [Osobennosti monogorodov Rossiiskoi Federatsii i ikh osnovnye problemy]. *Skif. Student science questions*, 2021, Iss. 2, pp. 142–147. [Electronic resource]: <https://sciff.ru/osobennosti-monogorodov/>. Last accessed 18.10.2021.
5. Mullin, J., Armstrong, J., Kavanagh, J. From Mill Town to Mill Town: The Transition of a New England Town from a Textile to a High-Technology Economy. *Journal of the American Planning Association*, 1986, Vol. 52, pp. 47–59. [Electronic resource]: https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=larp_faculty_pubs. Last accessed 18.10.2021.
6. Larin, O. N. Organisation of passenger transportation: Study guide [Organizatsiya passazhirskikh perevozok: Ucheb. posobie]. Chelyabinsk, SUSU Publishing House, 2005, 104 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/larin-on-organizatsiya-passazhirskikh-perevozok_647d49b702d.html. Last accessed 18.10.2021.
7. Petrova, D. V. Modern approaches to organisation of monitoring of public transport passenger traffic in urban agglomerations [Sovremennye podkhody k organizatsii monitoringa passazhiropotokov obshchestvennogo transporta gorodskikh aglomeratsii]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, Iss. 1, pp. 47–57. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Last accessed 18.10.2021.
8. Lebedeva, O. A., Gozbenko, V. E., Kargapol'tsev, S. K. Optimisation of the transport network taking into account assessment of the quality of public transport services [Optimizatsiya transportnoi seti s uchedom otsenki kachestva uslug obshchestvennogo transporta]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie*, 2019, Iss. 1, pp. 112–118. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).112-118.
9. Wetzel, D. Innovation ways of financing public transport. *World Transport Policy & Practice*, 2006, Vol. 12, Iss. 1, pp. 40–46. [Electronic resource]: <http://www.ecologica.co.uk/pdf/WTTP12.1.pdf>. Last accessed 18.10.2021.
10. Zhirkova, A. A., Basov, K. A., Ivlev, V. Yu., Titova, P. A. Substantiation of introduction of dedicated lanes for route passenger transport [Obosnovanie vvedeniya vydelennykh polos dlya marshrutnogo passazhirskogo transporta]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh*, 2016, Iss. 1–2, pp. 52–55. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471360>. Last accessed 18.10.2021. ●

Information about the authors:

Myachin, Valery N., D.Sc. (Eng), Professor, Director General of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, vmyachin@ipr.ru.

Akhmetov, Lenar R., Deputy Head of Executive Committee of Nizhnekamsk Municipal District for Economic Development and Project Management, Nizhnekamsk, Russia, ahmetov.lenar@tatar.ru.

Shulyaev, Vladimir V., Deputy Director General, Head of the Department of Transport Systems of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, vs@ipr.ru.

Kondrashkin, Mikhail G., Head of Passenger Transportation and Cargo Logistics Projects of Research and Design Institute for Territorial Development and Transport Infrastructure (LLC NIPI TRTI), St. Petersburg, Russia, mg@ipr.ru.

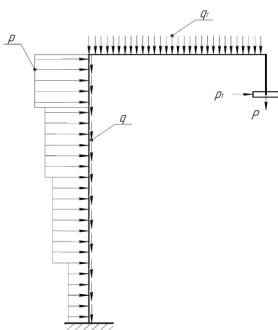
Article received 18.09.2021, approved 15.10.2021, updated 01.11.2021, accepted 05.11.2021.

T

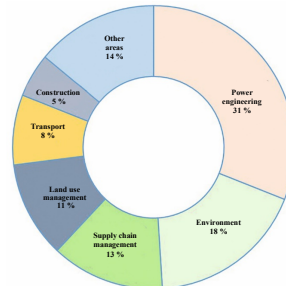


CIVIL ENGINEERING 226

Tower cranes are subject to wind loading and this may cause dangerous consequences. The suggested calculation models consider changes in strength of wind loading along the height of a crane, random nature of those changes, risks of longitudinal, transverse, and torsional vibrations.



SAFETY, SUSTAINABILITY, ENVIRONMENTAL PROTECTION



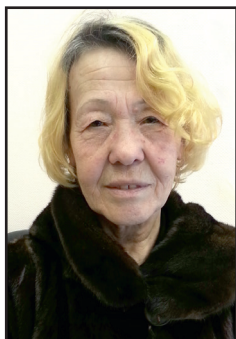
GREEN LOGISTICS 231

Logistics should meet sustainable development goals, and this could be achieved with the help of new organisation technology. Sophisticated decision-making models to govern supply chains can apply MCDM methods.

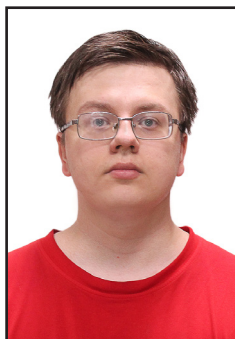




Research on the Nature of Tower Crane Metal Structures Loading



Lyubov A. SLADKOVA



Philip A. KUZNETSOV

Lyubov A. Sladkova¹, Philip A. Kuznetsov²

^{1, 2} Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ¹ rich.cat2012@yandex.ru.

ABSTRACT

The analysis of the accident rate of crane structures indicates that the most common cause of accidents with tower cranes is the wind load. The wind load is considered under working and non-working condition. In the working state, the maximum wind load is considered, at which the operation of the crane with the rated load is ensured. In the non-working state, the calculation is carried out using the coefficient accounting for the change in dynamic pressure depending on the height of the location from the ground surface of the given structural element in the non-working and working states of the crane. However, the regulatory documents as a rule do not consider the random nature of the wind load, although the research materials on changes in wind speed (gusts), proposed in the scientific and technical literature, indicate the interval character of their action.

The objective of the research was to study the nature of loading of the tower crane structures, which makes it possible to assess the change in the oscillatory process in the element of the crane metal structure exposed to the action of the wind load.

The design scheme proposed in the article considers the change in intensity of the wind load along the height of

the crane and the random nature of its change, which together lead to the occurrence of longitudinal, torsional, and bending vibrations. Oscillations of the crane metal structure were considered by the authors as oscillations of an oscillator with given parameters of the oscillation amplitude, system masses (boom and tower), and the weight of the load being lifted. The mechanical state of the system (rigidity and elasticity) was considered as well.

Theoretical studies of the system under consideration were carried out in two versions: 1) as of an elastic-viscous medium; 2) as of a continuous system.

The results obtained made it possible to reveal the physical nature of the oscillatory process and to carry out quantitative assessment of the change in the loading of the metal structures of the tower crane.

The theoretical studies allowed to obtain expression, which makes it possible to evaluate the change in the oscillatory process in the element of the crane metal structure exposed to the action of the wind load, which has a random nature of loading.

Keywords: transport construction, loading of metal elements, tower crane, wind load, loading, oscillatory process.

For citation: Sladkova, L. A., Kuznetsov, Ph. A. Research on the Nature of Tower Crane Metal Structures Loading. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 226–230. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-12>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Tower cranes are widely used in civil engineering, e.g. in transport construction for building of infrastructure facilities.

According to the statistics of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of the Russian Federation¹, the largest number of accidents related to lifting equipment occurs with tower cranes. For example, in 2020, during the operation of all types of lifting structures, 53 accidents were recorded, of which the largest number of cases (11) fell on tower cranes. As a result, seven people died. According to the author [1, p. 1] this figure is of 82 %.

The most common cause of tower crane accidents is wind load. According to data of the American National Standards Institute (ANSI) there were 1125 accidents wot tower cranes world-wide during 2000–2010 decade. There were 780 fatal injuries, while 23 % of those accidents were due to high wind load². The necessity to account for wind conditions for safe operation is indicated not only by crane manufacturers but also by crane operators. The significance of that factor is highlighted by the fact that there is a group of companies manufacturing special equipment to warn about dangerous access of values of wind speed³.

In Russia, the account of the wind load is regulated by GOST [State standard] 1451-77⁴ when designing metal structures and mechanisms, brakes, when determining the power of the engines, intrinsic and load stability of the crane. The wind load on the crane in working condition is deemed to be the maximum wind load, at which operation of the crane with the rated load is ensured. In the non-working state, the calculation is carried out using the coefficient considering the change in dynamic pressure depending on the height of the location from the ground surface of the given structural element in

the non-working and working states of the crane. There are international and national regulations in other countries, e.g., AS 1418.5 and EN 13000 are used in Australia regarding mobile cranes [2].

The same author [2] underlines the economic effect of the correct choice of the model of the crane based on the admissible wind load. Observations at a location showed that the use of a crane with admissible wind load rate of 20 m/s instead of a crane with admissible wind load rate of 12 m/s allows to increase the number of work hours by 342 % [2].

The existing practices of observing changes in wind speed show that its change has a random nature [3] which will invariably lead to a change in the loading of the elements of the crane's metal structure [4]. In work [5, pp. 44–46], the average statistical frequency of changes in the wind gust was noted, equal to 55–65 s, although other research materials [6, p. 32], carried out in Russia and abroad, show averaged rate of 0,5–5 s, that means that they differ by an order of magnitude.

Consequently, according to the data of later studies [5, pp. 44–46] the frequency of wind impact on a structural element will be equal to 0,0182–0,0154 s⁻¹. Such a spread cannot but lead to a change in the longitudinal, transverse, and torsional vibrations of the metal structure of the tower crane. As a result, internal forces in the considered metal structures will bear bending, torsional, and longitudinal vibrations (Pic. 1). Considering the influence on the metal structure of the tower crane, as on the system, from a periodically arising gust of wind, and considering the metal structure of the crane, which is a system consisting of a boom, a tower, and a load, it is evident that the effect of vibrations from the weight of the raised, lowered, or fixed load does not exclude the fact that the structure enters a near-resonance state.

To verify this hypothesis the *goal* was set to study the oscillatory process in the construction of the crane and, using the *methods* of system analysis and differential equations, to reveal the nature of the oscillatory process.

It is worth noting that there are research works dedicated to the description of the models of the impact of wind load on operations performed by cranes, particularly on the cargo, transported by rotary truck crane [7].

RESULTS

Let's consider the loads acting on the crane in a first approximation (see Pic. 1). Here q and

¹ Annual report of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, 2019. Moscow, STC Industrial safety, 2020.

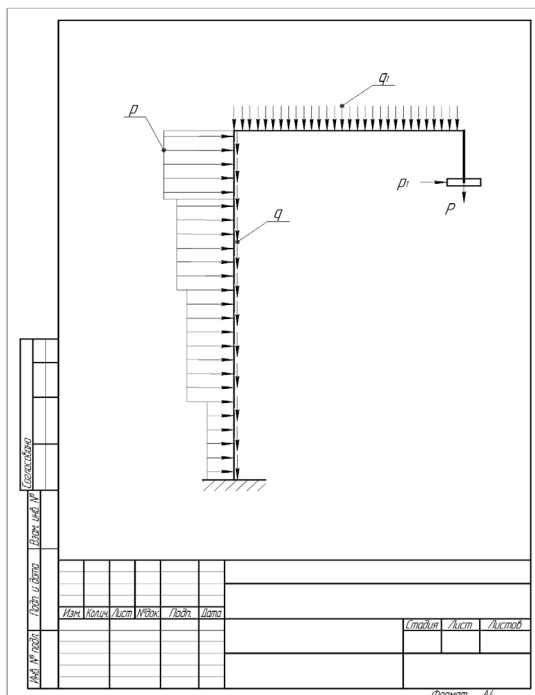
² Wind Conditions and Crane Safety. [Electronic resource]: <https://www.windcrane.com/anemometer-wind-crane>. Last accessed 25.04.2021.

³ Zajicek, C. Effect of Wind Speed on Cranes. [Electronic resource]: <https://www.cranewarningsystemsatlanta.com/post/effect-of-wind-speed-on-cranes>. Last accessed 25.04.2021.

⁴ GOST [State standard] 1451-77 Lifting cranes. Wind load. Standard and method of determination. Moscow, Gosstandard USSR, 1977, 19 p.



Pic. 1. Loads acting on the crane (according to GOST 1451-77).



q_1 are the distributed load from the gravity of the tower and the boom, respectively, N; p and p_1 – wind pressure on the tower and the cargo, respectively, N/m²; P – weight of the cargo being lifted, N.

In this case, it is necessary to consider the change in intensity of the wind load along the height of the crane and the random nature of its change. Its action, in combination with cargo characteristics, leads to the occurrence of longitudinal, torsional, and bending vibrations.

Oscillations of any mechanical system can be represented as oscillations of an oscillator [8, p. 125; 5, p. 76].

Using the methodology for calculating oscillatory systems [10, p. 127], we write the boom oscillations in the form of a differential equation. Boom vibrations:

$$m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + h \cdot \frac{dy}{dt} + k \cdot y = f(t), \quad (1)$$

where y – amplitude of oscillations;

m – mass of the system;

h – viscosity of the structure (coefficient of friction, proportional to speed), which is analogous to elasticity;

k – stiffness factor.

In accordance with Euler's solution [11, p. 282], the general solution of equation (1) will be sought in the form:

$$y = c_1 \cdot y_1(t) + c_2 \cdot y_2(t), \quad (2)$$

where c_1 and c_2 – integration constants.

Let's compose the characteristic equation: $m \cdot r^2 + h \cdot r + k = 0$.

Then the equation (2) takes the form:

$$y = c_1 \cdot e^{i\omega t} + c_2 \cdot e^{-i\omega t} = r \cdot \cos(\omega t + \varphi). \quad (3)$$

We will seek the solution using the total energy of the system (kinetic and potential) [6, p. 321]:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot y^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left[m \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + k \cdot y^2 \right]. \quad (4)$$

The oscillation frequency is equal to:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (5)$$

Substituting (3) into (4), we obtain that the total energy of the system will be equal to:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi) + \frac{1}{2} \cdot k \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot r^2 = \text{const.}$$

Considering elasticity of the system and using (1) and (4), we investigate the change in the total energy of the system in time by differentiating equation (4).

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \frac{1}{2} \cdot \left[2 \cdot m \cdot \frac{dy}{dt} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \cdot k \cdot y \cdot \frac{dy}{dt} \right] = \\ &= \frac{dy}{dt} \cdot \left(-h \cdot \frac{dy}{dt} - k \cdot y \right) + k \cdot y \cdot \frac{dy}{dt} = -h \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right)^2. \end{aligned}$$

The resulting sign « $-$ » indicates damping of the oscillatory process in the system. However, the action of the next gust of wind will inevitably lead to summation of oscillations, which can cause its near-resonance phenomenon.

The solution to the above equation will have the form [11, p. 326]:

$$y = c_1 \cdot e^{-at} + c_2 \cdot e^{-bt},$$

where a and b are the roots of the characteristic equation.

To determine the coefficients c_1 and c_2 , we set the initial conditions:

$$y|_{t=t_0} = y_0; \quad \frac{dy}{dt}|_{t=t_0} = v_0.$$

If the discriminant of the characteristic equation satisfies the condition $D > 0$, then using the initial conditions, we obtain:

$$c_1 = \frac{b \cdot y_0 + v_0}{b - a} \cdot e^{at_0};$$

$$c_2 = \frac{a \cdot y_0 + v_0}{a - b} \cdot e^{bt_0}.$$

Let's consider the scheme shown in Pic. 1 as a continuous system. We consider that the total energy of the system is:

$$u = u_{elas} + u_{ext}, \quad (6)$$

where $u_{elas} = P \cdot \Delta l$.

The total elongation is the sum of the elongations of the i -th sections:

$$\Delta l_i = \frac{(y_{i+1} - y_i)^2}{2 \cdot h}, \quad (6^*)$$

where h – variation interval.

Then:

$$u_{elas} = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2, \quad (7)$$

$$u_{ext} = -\sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (8)$$

Substituting (7) and (8) in (6), we get:

$$u = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2 - \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (9)$$

When the system is in balanced state at a fixed time interval (9), we have:

$$\frac{\partial u}{\partial y_i} = 0. \quad (10)$$

And in the absence of balance:

$$\frac{\partial u}{\partial y_i} \rightarrow \min, \quad (11)$$

that is, a compensating force is needed to return the system to an equilibrium position. We represent the right side of equation (9) as:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial y_i} &= \frac{P}{2 \cdot h} \cdot [2 \cdot (y_i - y_{i-1}) - 2 \cdot (y_{i+1} - y_i)] - F_i = \\ &= -\frac{P}{h} \cdot (y_{i+1} - 2 \cdot y_i + y_{i-1}) - F_i. \end{aligned}$$

Under stationary conditions:

$$\frac{P}{h} \cdot (y_{i+1} - 2 \cdot y_i + y_{i-1}) + F_i = 0. \quad (12)$$

Let's make an equation for two adjacent points ($F_i = F$):

$$y_i = -\frac{(i-1) \cdot i}{2} \cdot \frac{h \cdot F}{P} + i \cdot y_1. \quad (13)$$

When $yn = 0$ we get:

$$y_i = -\frac{(n-1) \cdot i \cdot h \cdot F}{2 \cdot P}, \quad i = 1, 2, \dots, (n-1).$$

It is obvious that in the expression (6*) the value:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{h} = y'.$$

Then (6*) can be rewritten as:

$$u_{elas} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P}{2} \cdot y'^2 - f_y \right] \cdot h = \sum_{i=1}^n \left[\frac{P}{2} \cdot y'^2 - f_y \right] \cdot \Delta x.$$

If $h \rightarrow 0$ we get:

$$P \cdot y'' + f(x) = 0.$$

Or:

$$y'' = -\frac{1}{P} \cdot f(x). \quad (14)$$

Using the initial conditions, with $y(0) = 0$; $y(l) = 0$ function $f(x) = f_0 = \text{const}$, then equation (14) will have the form:

$$y' = -\frac{f_0}{P} \cdot x + c_1;$$

$$y = -\frac{f_0}{P} \cdot \frac{x^2}{2} + c_1 \cdot x + c_2.$$

Considering the initial conditions:

$$c_2 = 0;$$

$$c_1 = \frac{f_0}{P} \cdot \frac{l}{2}.$$

Whence the required function will look like:

$$y = \frac{f_0 \cdot x \cdot (l - x)}{2 \cdot P}.$$

In case of the action of an elastic force, work is spent to overcome the elastic forces:

$$\sum_0^{y_1} (k \cdot y) dy = \sum \frac{k \cdot y_i^2}{2},$$

where k – elasticity coefficient.

Then the expression (6) will have the form:

$$u = \frac{P}{2 \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n (y_{i+1} - y_i)^2 + \frac{k}{2} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i. \quad (15)$$

However, considering the design scheme of a tower crane, the state of the latter in case of loading is changed by two parameters x and y , which change in time by interrelated functions of the form:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t). \end{cases} \quad (16)$$

These functions change over time at a rate:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y). \end{cases} \quad (17)$$

The initial conditions for solving the system of differential equations (17) are determined from



the equilibrium condition of the system which is elastic deformation, i.e.:

$$y|_{t=0} = y_0; x|_{t=0} = x_0;$$

$$\dot{y}|_{t=0} = 0; \dot{x}|_{t=0} = 0.$$

that is:

$$\begin{cases} P(x_0, y_0) = 0 \\ Q(x_0, y_0) = 0. \end{cases}$$

Under wind load, displacement of points of the system will be equal to:

$$\begin{cases} x(t_0) = x_0 + \Delta x_0 \\ y(t_0) = y_0 + \Delta y_0. \end{cases} \quad (18)$$

Substituting (18) in (17):

$$\begin{cases} \frac{d(\Delta x)}{dt} = P(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) = (P'_x)_0 \cdot \Delta x + (P'_y)_0 \cdot \Delta y \\ \frac{d(\Delta y)}{dt} = Q(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) = (Q'_x)_0 \cdot \Delta x + (Q'_y)_0 \cdot \Delta y. \end{cases} \quad (19)$$

The characteristic equation of the system has the form:

$$\begin{vmatrix} (P'_x)_0 - p & (P'_y)_0 \\ (Q'_x)_0 & (Q'_y)_0 - p \end{vmatrix} = 0.$$

For imaginary $p = r + i \cdot s$, the solution of the system has the form:

$$e^{pt} = e^{rt} \cdot (\cos st + i \cdot \sin st). \quad (20)$$

The analysis of equation (20) shows that the growth or damping of oscillations is determined by the sign of the root of the characteristic equation p , if p is a real root, and by the sign r , if p is imaginary.

Obviously, if at least one root of the equation is equal to 0, then equation (20) will have the form:

$$e^{-at} = 1.$$

That is, the object is motionless and is in a state of equilibrium, which is impossible in real life.

CONCLUSIONS

The analysis showed that the existing regulations in Russia governing the calculation of crane structures do not consider the random nature of the wind load.

The carried out theoretical studies made it possible to obtain expression (20), which makes

it possible to evaluate the change in the oscillatory process in the element of the crane metal structure exposed to the action of the wind load, which has a random nature of loading.

REFERENCES

1. Tarasova, T. V. Study of stability of tower cranes under the influence of wind loads [*Issledovanie ustoichivosti bashennykh kranov pri vozdeystvii vetrovykh nagruzok*]. Modern scientific research and innovations, 2016, Iss. 6. [Electronic resource]: <http://web.snauka.ru/issues/2016/06/68604>. Last accessed 25.04.2021.
2. Edwards, S. The effects of wind on crane operation. [Electronic resource]: <https://www.cranesandlifting.com.au/the-effects-of-wind-on-crane-operation/>. Last accessed 25.04.2021.
3. Jeng, Shyr Long; Yang, Chia Feng; Chieng, Wei Hua. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 2010, Vol. 2 (38), pp. 145–170. DOI: 10.1080/15397730903482702.
4. Korytov, M. S., Sorokin, V., Titenko, V. V., Belyakov, V. E. Study of the crawler crane stability affected by the length of compensating ropes and platform rotation angle in the mode of movement with payload. *Journal of Physics Conference Series*, 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1546/1/012135.
5. Mishin, A. V. Ensuring stability of tower cranes under wind influences. Ph.D. (Eng) thesis [*Obespechenie ustoichivosti bshennykh kranov pri vetrovykh vozdeystviyakh. Dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, MIIT publ., 2014, 169 p.
6. Recommendations for the revised dynamic calculation of buildings and structures regarding action of the pulsating component of the wind load [*Rekomendatsii po utochnennomu dinamicheskomu raschetu zdaniy i sooruzhenii na deystvie pulsatsionnoi sostavlyayuschei vetrovoi nagruzki*]. Intr. 1999-15-12.
7. Cekus, D., Kwiaton, P. Impact of Wind on the Movement of the Load Carried by Rotary Crane. *Applied Sciences*, 2019, Vol. 9, pp. 21–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9183842>.
8. Vibrations in technology: Ref.: in 6 volumes. Vol. 3. Oscillations of machines, structures, and their elements [*Vibratsii v tekhnike: Sprav.: v 6 t. T. 3. Kolebaniy mashin, konstruktii i ikh elementov*]. Ed. by F. M. Dimentberg, K. S. Kolesnikov. Moscow, Mashinostroenie publ., 1980, 544 p.
9. Lazaryan, V. A. Dynamics of vehicles: Selected works [*Dinamika transportnykh sredstv: Izbrannie trudy*]. Kiev, Naukova Dumka publ., 1985, 528 p.
10. Targ, S. M. Short course of theoretical mechanics [*Kratkiy kurs teoreticheskoi mekhaniki*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2010, 416 p.
11. Fikhtengoltz, G. M. Course of differential and integral calculus: in 3 volumes. Vol. II [*Kurs differentsialnogo i integralnogo ischisleniya: v 3 t. Tom II*]. Intr. remarks by A. A. Florinsky. 8th ed. Moscow, Fizmatlit publ., 2001, 864 p. ●

Information about the authors:

Sladkova, Lyubov A., D.Sc. (Eng), Professor of Russian University of Transport, Moscow, Russia, rich.cat2012@yandex.ru.
Kuznetsov, Philip A., Ph.D. student at the Department of Track, Construction Machines and Robotic Complexes of Russian University of Transport, Moscow, Russia, odevmaltkun@gmail.com.

Article received 25.04.2019, approved 26.03.2021, updated 20.09.2021, accepted 15.10.2021.



Multi-Criteria Decision-Making Methods in Green Logistics



Nikita A. Osintsev

Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, Russia.
✉ osintsev@magtu.ru

Nikita A. OSINTSEV

ABSTRACT

Due to the increased demands of the world community in accordance with the goals of the concept of sustainable development, supply chain management requires complex decision-making models that consider many environmental, economic, and social constraints when implementing various environmentally friendly, green methods and technologies. An effective tool in such conditions is the use of MCDM, multi-criteria decision-making methods.

The objective of the research, the results of which are provided in the article, is to analyse the application of MCDM in green logistics and management of green supply chains. The work used a set of methods including system and structural-functional analysis, methods of the theory of fuzzy sets, mathematical statistics, and expert assessments.

A general scheme of MCDM implementation is offered and a combined MCDM model is developed for assessing decisions on the choice of green technologies, including a system of indicators

for logistics flows, a model for managing logistics flows and a system of tools for green logistics.

In the MCDM model, a fuzzy analytical hierarchical process (fuzzy AHP) is used to establish the weight of indicators of logistics flows, eleven MCDM methods are used to rank green logistics tools: SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS. Comparison of the use of various MCDM methods showed a high convergence of the ranking results (Spearman's rank correlation coefficient is of 0.949). The most consistent are SAW, MARCOS and WASPAS methods, the least consistent are CODAS methods.

The results of the design example showed that the most preferable solution is the «use of intermodal technologies and multimodal transportation» (ranked first within all eleven methods), the least preferable solution is the «use of environmentally friendly fuels and lubricants (fuels)» (ranked 12th within 10 methods of 11).

Keywords: multi-criteria decision-making methods, sustainable development, green logistics, green supply chain management.

For citation: Osintsev, N. A. Multi-Criteria Decision-Making Methods in Green Logistics. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 231–240. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

In the modern world, the decision-making process in an organisation is carried out in the context of the concept of sustainable development [1] and must simultaneously consider economic, social and environmental consequences of decision-making in the long term [2]. The effective implementation of the concept of sustainable development in logistics activities and supply chain management is based on the use of methods of making managerial decisions to change the parameters of logistics flows, improve the elements of the logistics system and their functions [3]. The complexity of decision-making is associated with participation of many stakeholders in the supply chain, pursuing goals of varying complexity [4]; with uncertainty and dynamism of the logistics environment; as well as with the need to consider the influence of many factors (economic, technical, technological, infrastructural, social and environmental ones) [3]; with the presence of a wide variety of managerial decisions at different levels of management; with an increase in the number of criteria for evaluating managerial decisions related, in particular, to achievement of sustainable development goals [3; 5].

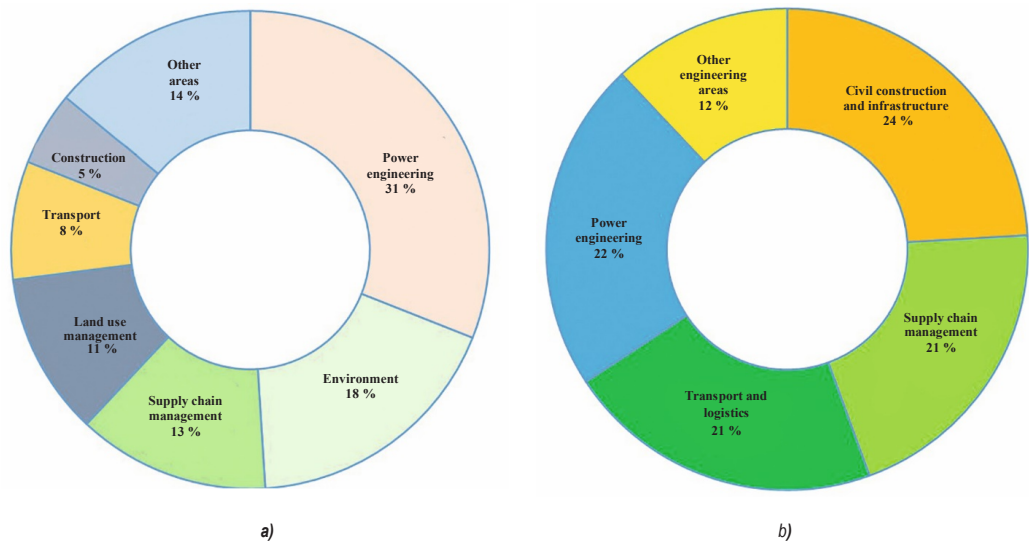
The need to consider the listed constraints when making a decision has led to the active development of the scientific area in multi-criteria decision analysis (MCDA) or multi-criteria decision making (MCDM).

The *objective* of the article is to analyse the application of multi-criteria decision-making methods in green logistics and management of green supply chains. Achieving this goal is based on the use of systemic and structural-functional analysis in the development of an MCDM model for choosing green logistics tools, expert assessment methods and fuzzy set theory for assessing the indicators of logistics flows, as well as on mathematical statistics for calculating the Spearman rank correlation coefficient when comparing various MCDM methods.

LITERATURE REVIEW

MCDM methods are an important part of decision theory and analysis. The main purpose of their use is reduced to solving four types of problems [6]: choosing the best solution from the set, ranking and sorting of solutions, describing and systematising solutions and the consequences of their implementation for assessment and further management. Currently, MCDMs are actively used in the field of climate change [7], sustainable development [2], economics [8], sustainable engineering [9], supply chain management [10–12], energy consumption [13], reverse logistics [14], corporate sustainability [15], in transport [16; 17], in green logistics [18] and management of green supply chains [19; 20].

MCDM methods fall into two categories: Multi-Objective Decision Making (MODM) [21] and Multi-Attribute Decision Making (MADM)



Pic. 1. Using MCDM methods:
a – in the field of sustainable development; b – in sustainable engineering (compiled by the author based on [2; 9]).

[22]. MODM models include an infinite or very large number of alternative solutions, and the purpose while considering the stated problem is to determine the optimal alternative given a set of well-defined constraints by solving a mathematical model. MADM models are discrete and are applied for ranking, where a finite number of proposed alternatives are evaluated against various weighted attributes to obtain a preference rating that describes the performance of each alternative in achieving a target in terms of attributes. To increase the efficiency of MCDM estimation, the MCDM models can be combined with the theory of fuzzy sets, rough sets, grey sets, etc. [23].

The mentioned disadvantages of using MCDM are [8; 24]: obtaining different results when using MCDM to solve one multi-criteria problem; complexity of collecting initial information and its possible loss in the process of data aggregation; increasing complexity of the decision-making process. In works [8; 25; 26] it is noted that there are no universal MCDM methods suitable for all decision-making situations, which leads to the problem of choosing a MCDM method. Studies [25; 27] provide recommendations for such a choice.

Pic. 1 shows the distribution of MCDM methods in sustainable development [2] and sustainable engineering [9], and from 20 to 40 % of research is in sustainable transport and green supply chain management.

The most frequently used MCDM methods in the field of green logistics and management of green supply chains are [9; 14; 18; 19; 28]: AHP which is an analytical hierarchical process, ANP which is an analytical network process, TOPSIS which is a method of ordered preference through similarity to an ideal solution, DEMATEL which is a method of testing and evaluating decision making, ELECTRE which is a method of exclusion and choice in reality, PROMRETHEE which is a method of organising sorting of preferences for evaluating alternatives, VIKOR which is a multi-criteria optimisation and trade-off solution. The most common methods used in combination with other methods are AHP and fuzzy AHP [9].

MCDM methods are used to solve problems related to sales planning, choosing a green supplier, managing reverse flows (reverse logistics), assessing the location of logistics infrastructure, organising and planning transportation [28].

RESULTS

Basic Stages of Using MCDM

The decision-making process using MCDM includes three main stages (Pic. 2):

1. *Structuring the problem to be solved.* At the stage, goals and objectives are determined; analysis of possible solutions (alternatives) that can be implemented to achieve the goals is performed; a system of criteria is established by which alternatives should be evaluated; the persons participating in the decision-making, as well as the expert group are identified. The information obtained at this stage serves as the basis for determining which MCDM method can be used.

2. *Selection and application of MCDM method.* At this stage are developed and performed: the initial decision matrix; assessment of the importance of each criterion in relation to the goal; assessment of the preference for each alternative in relation to the criteria; calculation of general weighted estimates of alternatives; aggregation of alternative estimates; ranking of all possible alternatives based on total weighted scores. The use of different MCDM methods at this stage affects the final result of assessment.

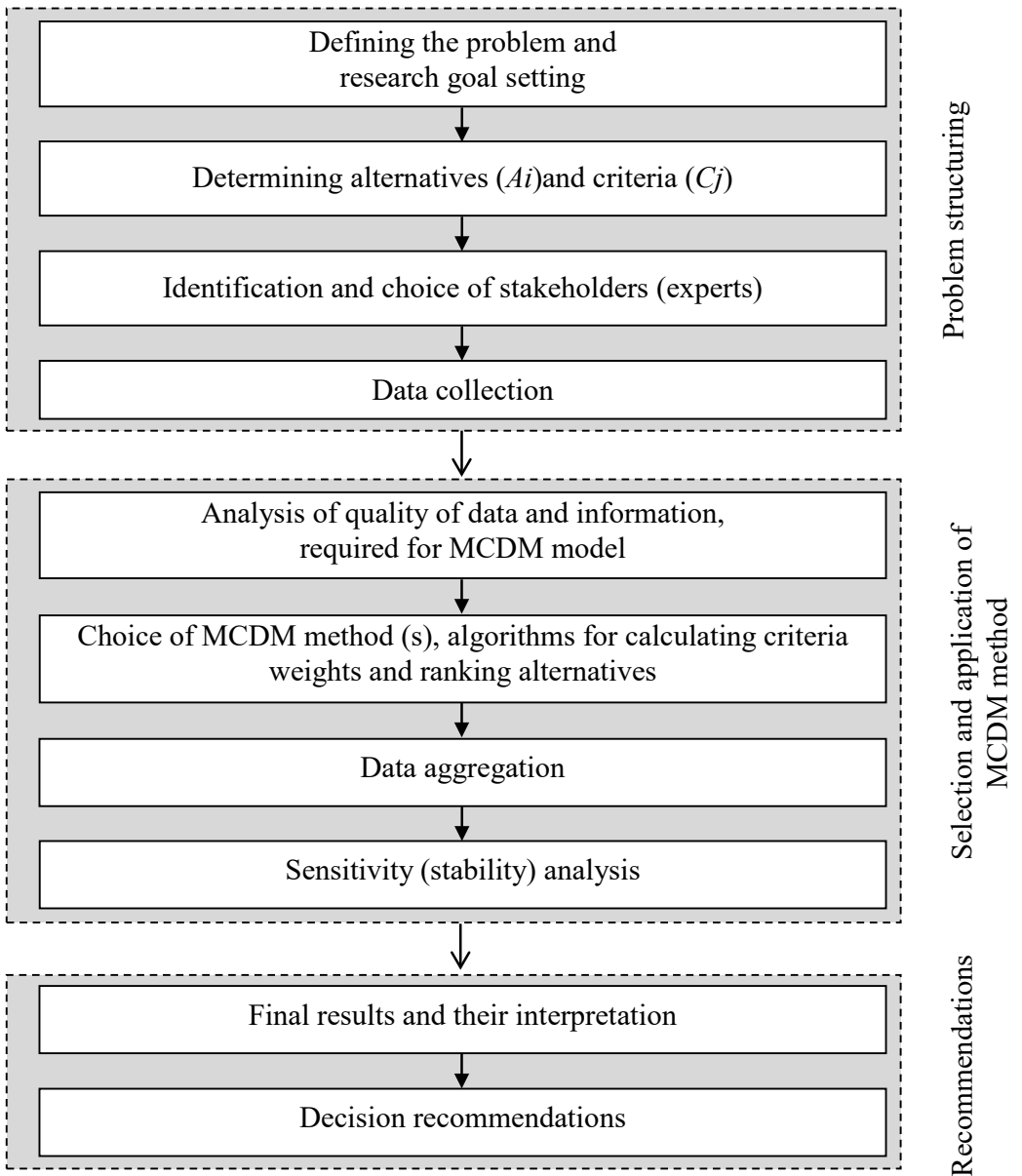
3. *Recommendations for decision-making.* The higher the overall weighted score is, the preferable the alternative will be. The results obtained should be further examined by performing a sensitivity analysis to assess stability of the results obtained.

If parties with different interests are involved in the decision-making process, it is advisable to use the Multi actor multi criteria analysis method (MAMCA) [29]. In MAMCA, a hierarchical structure of goals / objectives / criteria is formed within the general model in the form of separate modules for each stakeholder, which are subsequently grouped together. This allows stakeholder groups to create their own criteria trees and consider which criteria are of interest for a specific decision-making problem [4].

An Example of Using MCDM when Choosing Green Logistics Tools

As an example of comparing various MCDM methods, this paper presents the problem of assessing and choosing solutions for implementation of green logistics tools for the transportation element of the logistics system. The initial data for the problem being solved were:





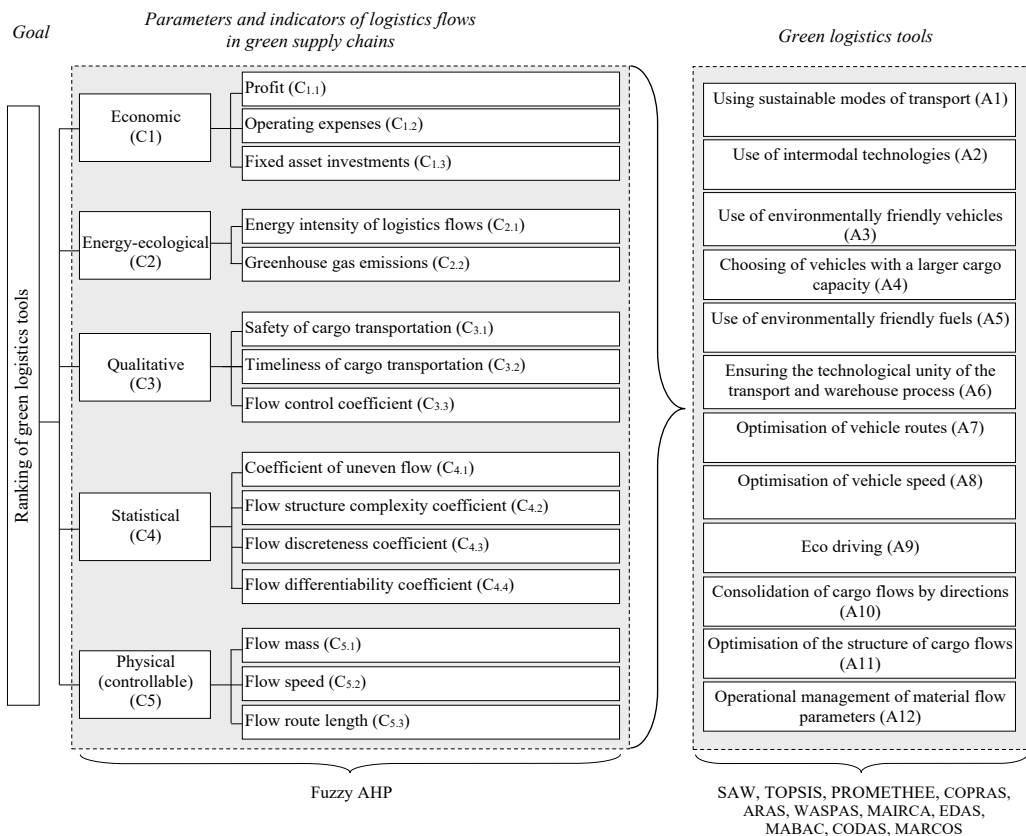
Pic. 2. General scheme of using MCDM (developed by the author).

- System of indicators of logistics flows [3].
- System of tools for green logistics [30].
- A model for managing logistic flows [31].
- Weight coefficients of parameters and indicators of logistics flows, as well as the results of an expert assessment of the tools of green logistics [32].

Pic. 3 shows a general diagram of the MCDM model. The criteria (C_1 – C_5) and sub-criteria ($C_{1.1}$ – $C_{5.3}$) of the model are five groups of parameters and 15 indicators of logistics flows [3], alternatives (A_1 – A_{12}) are the tools of green

logistics of the transportation element of the logistics system [31].

The ranking of green logistics tools (alternatives A_1 – A_{12}) is performed using eleven different MCDM methods: SAW (Simple Additive Weighting) [33]; TOPSIS (Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [22]; PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) [34]; COPRAS (Complex Proportional Assessment) [35]; ARAS (Additive Ratio Assessment) [36]; WASPAS (Weighted



Pic. 3. Scheme of the model for assessing management decisions on the choice of tools for green logistics (developed by the author).

Aggregated Sum Product Assessment) method [37]; MAIRCA (Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) [38]; EDAS (the Evaluation based on Distance from Average Solution) [39]; MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) [40]; CODAS (Combinative Distance-based Assessment) [41]; MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) [42]. The calculation methods and the stages of implementation of each method can be found in the referenced scientific literature.

The initial decision-making matrix (X) includes alternatives $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, the assessment of which is performed according to the criteria $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$.

$$X = A_2 \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

where m – the number of alternatives equal to 12;

n – the number of criteria equal to 15,

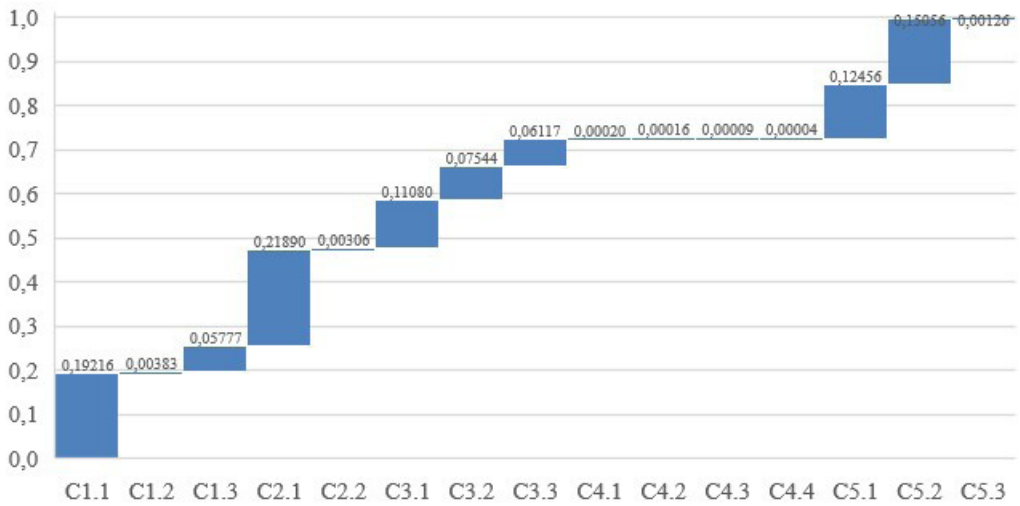
x_{ij} – assessment of the value of the i -th alternative A according to the j -th criterion C .

The values of the weighting coefficients of the criteria $C1.1$ – $C5.3$ were calculated by the fuzzy AHP method (Pic. 4), the results of an expert assessment of alternatives are presented in Table 1 [32]. The value of criteria $C1.1$, $C1.3$, $C3.1$, $C3.2$, $C3.3$, $C5.1$, $C5.2$ tends to the maximum («benefit» group), criteria $C1.2$, $C2.2$, $C2.2$, $C4.1$, $C4.2$, $C4.3$, $C4.4$, $C5.3$ tends to a minimum (group «expenses»).

Using the data in Table 1 and Pic. 4, the calculation of the normalised decision-making matrix and data aggregation are performed in accordance with the selected MCDM methods. The results of ranking alternatives using eleven MCDM methods are presented in Table 2 and Pic. 5.

The analysis results show that the most preferred alternative is A1 which is the «use of intermodal technologies and multimodal transportation» (ranked first within all eleven methods), the least preferred alternative is A5 which is the «use of environmentally friendly





Pic. 4. Weight coefficients of indicators of logistics flows [32].

Table 1

Initial decision-making matrix [32]

A_i/C_j	C1.1 (max)	C1.2 (min)	C1.3 (max)	C2.1 (min)	C2.2 (min)	C3.1 (max)	C3.2 (max)	C3.3 (max)	C4.1 (min)	C4.2 (min)	C4.3 (min)	C4.4 (min)	C5.1 (max)	C5.2 (max)	C5.3 (min)
A1	3,302	4,309	4,642	4,309	5,000	2,000	1,260	3,302	2,000	2,520	2,289	2,289	2,884	2,884	3,302
A2	4,309	3,557	4,000	4,642	4,309	3,915	3,915	3,634	3,634	3,684	3,420	2,466	2,289	3,634	3,915
A3	2,289	3,175	3,557	3,634	4,642	2,000	1,817	2,080	1,817	2,000	1,817	2,289	2,289	2,289	2,080
A4	3,302	3,915	2,924	4,000	4,217	2,000	2,000	1,817	3,420	2,289	4,309	2,289	4,000	2,000	1,260
A5	3,302	3,634	1,817	3,634	3,557	1,000	1,000	1,000	1,587	1,260	1,260	1,260	1,000	1,587	1,000
A6	2,714	3,915	2,884	2,884	2,884	3,302	4,309	4,309	4,309	2,289	2,080	2,080	2,000	2,884	2,080
A7	2,520	3,302	1,817	2,621	2,884	1,817	2,884	3,634	2,289	2,289	2,080	2,289	1,442	2,520	3,107
A8	2,466	2,884	1,260	2,080	1,442	1,587	2,884	2,000	2,000	1,442	1,587	1,817	1,587	5,000	1,817
A9	1,587	2,289	1,000	2,080	2,621	1,000	1,587	1,817	1,587	1,442	1,442	1,000	1,260	2,884	1,442
A10	2,621	3,175	1,260	3,000	3,000	2,289	2,884	3,302	2,714	3,634	2,714	3,915	4,309	2,884	3,175
A11	3,175	2,884	1,587	2,884	2,621	2,289	3,175	3,634	3,175	5,000	2,289	2,884	3,000	3,420	2,080
A12	2,289	2,884	1,587	3,000	3,000	2,621	4,309	4,309	4,309	3,915	3,302	3,557	2,884	3,634	3,302

fuels and lubricants (fuels)» (ranked 12th within 10 methods of 11). The discrepancy in the rank in the alternatives is explained by the use of different algorithms and methods for normalising the initial decision matrix and data aggregation in the methods, as well as by the presence of many alternatives with a small difference in the estimates between them.

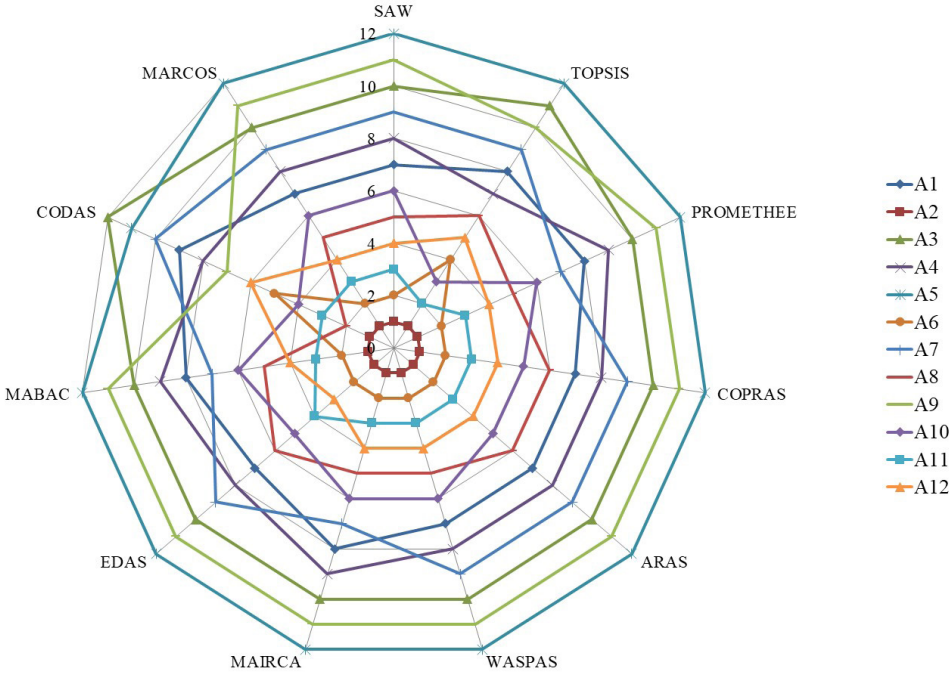
To determine the relationship between the ranking results obtained using various MCDM methods, Spearman's rank correlation coefficient is used [43] (Table 3).

Even though the considered MCDM methods use different methods of data normalisation and aggregation, a high correlation was achieved when ranking alternatives (the overall correlation

Table 2

Results of ranking alternatives by different MCDM methods

MCDM method	Alternatives (green logistics tools)											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
SAW	0,610	0,751	0,529	0,595	0,437	0,694	0,584	0,672	0,514	0,662	0,686	0,682
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4
TOPSIS	0,079	0,103	0,060	0,082	0,053	0,096	0,074	0,094	0,066	0,096	0,102	0,095
	8	1	11	7	12	4	9	6	10	3	2	5
PROMETHEE	-0,046	0,155	-0,140	-0,053	-0,262	0,128	-0,031	0,091	-0,156	0,080	0,126	0,108
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
COPRAS	81,33	100,00	70,28	79,18	56,29	91,38	75,62	86,95	65,73	87,39	89,88	89,71
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	3	4
ARAS	0,613	0,755	0,530	0,598	0,427	0,690	0,573	0,659	0,498	0,660	0,680	0,678
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	3	4
WASPAS	0,344	0,423	0,299	0,336	0,245	0,392	0,330	0,377	0,287	0,374	0,388	0,385
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4
MAIRCA	0,035	0,051	0,028	0,035	0,019	0,049	0,036	0,046	0,027	0,045	0,048	0,047
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
EDAS	0,498	0,843	0,313	0,473	0,053	0,721	0,412	0,585	0,183	0,646	0,690	0,691
	7	1	10	8	12	2	9	6	11	5	4	3
MABAC	-0,014	0,170	-0,101	-0,020	-0,212	0,146	0,000	0,112	-0,115	0,102	0,144	0,127
	8	1	10	9	12	2	7	5	11	6	3	4
CODAS	-0,098	0,617	-0,620	-0,037	-0,552	0,111	-0,247	0,493	0,002	0,126	0,128	0,090
	9	1	12	8	11	5	10	2	7	4	3	6
MARCOS	0,566	0,696	0,491	0,552	0,406	0,644	0,542	0,623	0,477	0,615	0,637	0,633
	7	1	10	8	12	2	9	5	11	6	3	4



Pic. 5. Results of ranking green logistics tools using eleven MCDM methods.



Table 3

Spearman's rank correlation coefficient (results obtained by the author)

MCMD method	SAW	TOPSIS	PROMETHEE	COPRAS	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	CODAS	MARCOS
SAW	1,000	0,930	0,979	0,993	0,993	1,000	0,979	0,986	0,979	0,818	1,000
TOPSIS	–	1,000	0,909	0,951	0,951	0,930	0,909	0,930	0,909	0,881	0,930
PROMETH-EE	–	–	1,000	0,972	0,972	0,979	1,000	0,965	1,000	0,797	0,979
COPRAS	–	–	–	1,000	1,000	0,993	0,972	0,993	0,972	0,804	0,993
ARAS	–	–	–	–	1,000	0,993	0,972	0,993	0,972	0,804	0,993
WASPAS	–	–	–	–	–	1,000	0,979	0,986	0,979	0,818	1,000
MAIRCA	–	–	–	–	–	–	1,000	0,965	1,000	0,797	0,979
EDAS	–	–	–	–	–	–	–	1,000	0,965	0,783	0,986
MABAC	–	–	–	–	–	–	–	–	1,000	0,797	0,979
CODAS	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,000	0,818
MARCOS	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,000



coefficient was 0,949). SAW, MARCOS and WASPAS methods are fully consistent with each other and have the highest mean correlation coefficient among all methods, equal to 0,9688. The least consistent method is CODAS (mean correlation coefficient is 0,829). The difference in ranks is described in the literature [44; 45] and is justified by the use of various methods of data normalisation (for example, vector or linear normalisation).

The obtained results of ranking the tools of green logistics can be used to make management

decisions to increase sustainability of the transportqtion element of the green supply chain.

CONCLUSION

The article examines the application of multi-criteria decision-making methods (MCDM) in green logistics and management of green supply chains, shows the features of application of the methods and substantiates the need for their use in supply chain management.

The developed combined MCDM model for assessing and choosing solutions for implementation of green logistics tools includes 12 alternatives and 15 criteria. The criteria weight was calculated using fuzzy AHP, ranking of alternatives was performed by eleven MCDM methods (SAW, TOPSIS, PROMETHEE, COPRAS, ARAS, WASPAS, MAIRCA, EDAS, MABAC, CODAS, MARCOS).

The calculated example of comparing eleven MCDM methods showed a high correlation of the results (correlation coefficient was 0,949). The most consistent are SAW, MARCOS and WASPAS methods, the least consistent are CODAS methods. According to the calculation results, the preferred alternative is the «use of intermodal technologies and multimodal transportation» (A1), the least preferred alternative is A5 which is the «use of environmentally friendly fuels and lubricants».

Further research can be related to development of a hybrid MCDM decision-making model for the choice of green logistics tools in supply chains, considering the interests of various stakeholders.

REFERENCES

1. Sustainable Development. United Nations Department of Economic and Social Affairs. [Electronic resource]: <https://sustainabledevelopment.un.org/>. Last accessed 06.07.2021.
2. Kandakoglu, A., Frini, A., Ben Amor, S. Multicriteria decision making for sustainable development: A systematic review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2019, Vol. 26, Iss. 5–6, pp. 202–251. DOI: 10.1002/mcda.1682/.
3. Osintsev, N., Rakhmangulov, A., Śladowski, A., Dyorina, N. Logistic Flow Control System in Green Supply Chains. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, Vol. 124, pp. 311–380. DOI: 10.1007/978-3-030-42323-0_6.
4. Fredriksson, A., Janné, M., Nolz, P. C., Chennevière, Ph., van Lier, T., Macharis, C. Creating stakeholder awareness in construction logistics by means of the MAMCA. *City and Environment Interactions*, 2021, Iss. 11, pp. 100067. DOI: 10.1016/j.cacint.2021.100067.
5. Rakhmangulov, A. N., Kornilov, S. N., Aleksandrin, D. V., Shevkunov, N. O. Multi-criteria model for the development of industrial logistics. 15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Iss. 966, pp. 12103. DOI: 10.1088/1757-899X/966/1/012103.
6. Roy, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Boston, MA: Springer US. Series Nonconvex Optimization and Its Applications, 1996, Vol. 12, 292 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>.
7. Doukas, H., Nikas, A. Decision Support Models in Climate Policy. *European Journal of Operational Research*, 2019, Vol. 280, Iss. 1, pp. 1–24. DOI: 10.1016/j.ejor.2019.01.017.
8. Zavadskas, E. K., Turskis, Z. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 2011, Vol. 17, Iss. 2, pp. 397–427. DOI: 10.3846/20294913.2011.593291.

9. Stojčić, M., Zavadskas, E., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A. Application of MCDM Methods in Sustainability Engineering: A Literature Review 2008–2018. *Symmetry*, 2019, Vol. 11, Iss. 3, p. 350. DOI: 10.3390/sym11030350.
10. Multiple Criteria Decision Making in Supply Chain Management. Ed. by A. R. Ravindran, Boca Raton: CRC Press, 2016, Vol. 12, 379 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315371450>.
11. Beck, P., Hofmann, E. Multiple criteria decision making in supply chain management – Currently available methods and possibilities for future research. *Die Unternehmung*, 2012, Vol. 66, Iss. 2, pp. 182–217. DOI: 10.5771/0042-059X-2012-2-180.
12. Khan, S. A., Chaabane, A., Dweiri, F. T. Multi-Criteria Decision-Making Methods Application in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *InTechOpen*, 2018, 31 p. DOI: 10.5772/intechopen.74067.
13. Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K. M., Khoshnoudi, M. A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, Iss. 71, pp. 216–256. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.053.
14. Rezaei, J. A Systematic Review of Multi-criteria Decision-making Applications in Reverse Logistics. *Transportation Research Procedia*, 2015, Iss. 10, pp. 766–776. DOI: 10.1016/j.trpro.2015.09.030.
15. Chowdhury, P., Paul, S. K. Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: A systematic literature review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 2020, Vol. 31, Iss. 2, pp. 385–405. DOI: 10.1108/MEQ-12-2019-0284.
16. Macharis, C., Bernardini, A. Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, 2015, Vol. 37, Iss. 1, pp. 177–186. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.11.002.
17. Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Jusoh, A., Nor, K. M. Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 2016, Vol. 31, Iss. 3, pp. 359–385. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1121517>.
18. Wątróbski, J. Outline of multicriteria decision-making in green logistics. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 16, pp. 537–552. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.051.
19. De Oliveira, U. R., Espindola, L. S., Da Silva, I. R., Da Silva, I. N., Rocha, H. M. A systematic literature review on green supply chain management: research implications and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 2018, Vol. 187, pp. 537–561. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.083.
20. Zhang, L.-J.; Liu, R.; Liu, H.-C.; Shi, H. Green supplier evaluation and selections: a state-of-the-art literature review of models, methods, and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Iss. 4, pp. 1–25.
21. Hwang, Ching-Lai; Masud, Abu Syed Md. Multiple Objective Decision Making – Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg, Springer, 1979, 354 p. ISBN 978-3-642-45511-7. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-45511-7%2F1.pdf>. Last accessed 06.07.2021.
22. Hwang, Ching-Lai; Yoon, Kwangsun. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg, Springer, 1981, 262 p. ISBN 978-3-642-48318-9. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-642-48318-9%2F1.pdf>. Last accessed 06.07.2021.
23. Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) Techniques for Business Processes Information Management. Ed. by E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, P. Chatterjee. Basel, MDPI, 2019, 322 p. ISBN 978-3-03897-642-4. DOI: 10.3390/books978-3-03897-643-1.



24. Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M., Yusop, Z. B. Methods and their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. Weighting Cham, Springer International Publishing, 2015, 166 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12586-2.
25. Guitouni, A., Martel, J.-M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 1998, Vol. 109, Iss. 2, pp. 501–521. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v109y1998i2p501-521.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
26. Valipour, A., Sarvari, H., Tamošaitienė, J. Risk Assessment in PPP Projects by Applying Different MCDM Methods and Comparative Results Analysis. *Administrative Sciences*, 2018, Vol. 8, Iss. 4, p. 80. DOI: 10.3390/admsci8040080.
27. Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., Ziolo, M. Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega*, 2019, Vol. 86, Iss. 1, pp. 107–124. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/eee/jomega/v86y2019i1p107-124.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
28. Banasik, A., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Kanellopoulos, A., Claassen, G. D. H., van der Vorst, J. G. A. J. Multi-criteria decision making approaches for green supply chains: a review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2018, Vol. 30, Iss. 3, pp. 366–396. [Electronic resource]: https://ideas.repec.org/a/spr/flsman/v30y2018i3d10.1007_s10696-016-9263-5.html#download. Last accessed 06.07.2021.
29. Macharis, C., De Witte, A., Turksin, L. The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) application in the Flemish long-term decision making process on mobility and logistics. *Transport Policy*, 2010, Vol. 17, Iss. 5, pp. 303–311. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/eee/traopol/v17y2010i5p303-311.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
30. Rakhmangulov, A., Sladkowski, A., Osintsev, N., Muravev, D. Green logistics: A system of methods and instruments. Part 2. *Naše more*, 2018, Vol. 65, Iss. 1, pp. 49–55. [Electronic resource]: https://www.nasemore.com/wp-content/uploads/2018/04/7_Rakhmangulov_Sladkowski_Osintsev_Muravev.pdf. Last accessed 06.07.2021.
31. Osintsev N. Concept of the management system of logistics flows in «green» supply chains [Kontseptsiya sistemy upravleniya logisticheskimi potokami v «zelenykh» tsepyakh postavok]. *Bulletin of Ural State Transport University*, 2020, Iss. 2, pp. 81–92. DOI: 10.20291/2079-0392-2020-2-81-92.
32. Osintsev N., Rakhmangulov A., Sladkovsky A. Ranging of «green» logistics tools using the combined Fuzzy AHP-TOPSIS method [Ranzhirovanie instrumentov «zelenoi» logistiki kombinirovannym metodom Fuzzy AHP-TOPSIS]. *Transport Urala*, 2020, Vol. 64, Iss. 1, pp. 3–14. DOI: 10.20291/1815-9400-2020-1-3-14.
33. Churchman, C. W., Ackoff, R. L. An Approximate Measure of Value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 1954, Vol. 2, Iss. 2, pp. 172–187. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/inm/oropre/v2y1954i2p172-187.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
34. Brans, J. P., Vincke, P. Note – a preference ranking organization method. *Management Science*, 1985, Vol. 31, Iss. 6, pp. 647–656. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/inm/ormsoc/v31y1985i6p647-656.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
35. Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Sarka, V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1994, Vol. 1, Iss. 3, pp. 131–139. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Arturas-Kaklauskas/publication/285902199_The_new_method_of_multicriteria_complex_proportional_assessment_of_projects/links/6076cdaea020ab5f21733a0b/The-new-method-of-multicriteria-complex-proportional-assessment-of-projects.pdf. Last accessed 06.07.2021.
36. Zavadskas, E. K., Turskis, Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 2010, Vol. 16, Iss. 2, pp. 159–172. DOI: 10.3846/tede.2010.10.
37. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Electronics and Electrical Engineering*, 2012, Vol. 122, Iss. 6, pp. 3–6. DOI: 10.5755/j01.eee.122.6.1810.
38. Pamučar, D., Vasin, L., Lukovac, V. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA: Application of a new method of multi-criteria decision-making. 16th Scientific-Expert Conference on Railways, RAILCON 2014. Bane, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 89–92. DOI: 10.13140/2.1.2707.6807.
39. Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L., Turskis, Z. Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 2015, Vol. 26, Iss. 3, pp. 435–451. DOI: 10.15388/Informatica.2015.57.
40. Pamučar, D., Čirović, G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC). *Expert Systems with Applications*, 2015, Vol. 42, Iss. 6, pp. 3016–3028. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.11.057.
41. Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. A New Combinative Distance-Based Assessment (Codas) Method for Multi-Criteria Decision-Making. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 2016, Vol. 50, Iss. 3, pp. 25–44. [Electronic resource]: <https://ideas.repec.org/a/cys/ecocyb/v50y2016i3p25-44.html#download>. Last accessed 06.07.2021.
42. Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., Chatterjee, P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 2020, pp. 106231. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106231.
43. Conover, W. J. Practical nonparametric statistics. Ed. 3rd. New York, Chichester, John Wiley, 1999, 608 p. ISBN 978-0-471-16068-7.
44. Aytikin, A. Comparative Analysis of the Normalization Techniques in the Context of MCDM Problems. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2021, Vol. 4, Iss. 2, pp. 1–25. DOI: 10.31181/dmame210402001a.
45. Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Kildienė, S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 2014, Vol. 20, Iss. 1, pp. 165–179. DOI: 10.3846/20294913.2014.892037. ●

Information about the author:

Osintsev, Nikita A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Logistics and Transportation Systems Management, Novos Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), Magnitogorsk, osintsev@magtu.ru.

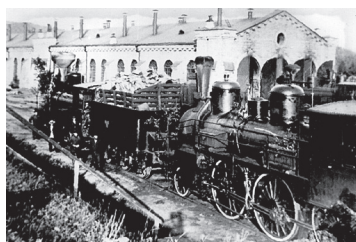
Article received 16.09.2021, approved after review 11.10.2021, enlarged 29.10.2021, accepted 05.11.2021.



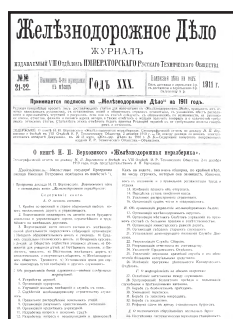
RAILWAY

242

Second part of the report of O.A. Struve at the solemn general meeting of the members of the Imperial Russian Technical Society dedicated to the 75th anniversary of Russian railways. Many issues of transport accessibility and availability are still relevant.



HISTORY WHEEL



SELF-PROPELLED CAR

245

110 years ago, the discussion referred to social significance of suburban traffic and the participants in the debates tried to make the introduction of new vehicles economically sound. Alternative energy sources were also under consideration, though electricity was compared rather to steam than to diesel engine.





Report of O. A. Struve, Candidate for the Chairmanship of VIII Department. Part 2



News from the archives
The final part of the article, first published in Rail Business [Zheleznodorozhnoye Delo] journal 110 years ago, introduced to the readers the report of O. A. Struve, presented at the Solemn General Meeting of the members of the Imperial Russian Technical Society on April 15, 1911, on the occasion of the seventy-fifth anniversary of the emergence of railways in Russia, chaired by the Honorary Chairman of the Society His Imperial Highness Grand Prince Alexander Mikhailovich.
The second part of the report refers to always relevant issues of calculation of transport accessibility of the regions and connectivity of the country, of cooperation and not competition between railways and water transport, social or commercial nature of investments in transport infrastructure. As figuratively noted the author of the report, «there is no any doubt that each rouble invested in construction of railways while it is a rouble buried in the ground add the value to this ground by much more than this rouble costs».
The first part of the report was published in the previous issue of the journal (Vol. 19, Iss. 4 (95)).

Keywords: railway, history, railway density, connectivity.

The railway network of a given country can be imagined in the form of a certain schematic regular network consisting of a number of mutually perpendicular lines forming rectangular square cells, provided that the total length of these lines equals the length of the railways of a given country, and the space covered by them would correspond to the area the same country.

The larger or smaller size of the side of such a cell will serve as a visual indicator of the density of the network.

A simple calculation shows that the side of such a cell, expressed in kilometres or versts, is equal to 200 divided by the network density factor, i.e. by the length of roads per 100 sq. versts or kilometres.

On this basis, the side of the cell of the network will be determined:

For France	as 22,5km
For Germany	as 18,5 km
For England	as 16,9 km
For Austria	as 30,0 km

finally, for European Russia, excluding northern regions, as 140 versts or 148 kilometres.

This size of the sides of a schematic cell can, of course, only with some approximation serve as a comparative measure for assessing the average distance of a horse-drawn carriage to the railways (which, theoretically speaking, would be equal to one-sixth of the side of the cell), but still these figures eloquently indicate the need for significant thickening of our

For citation: Report of O. A. Struve, Candidate for the Chairmanship of VIII Department. Part 2. World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss.5 (96), pp. 242–244. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-14>.

Acknowledgments. The editorial board expresses their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their assistance in preparing the publication.

*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.*

network and its further expansion and development.

However, the provision of Russia with railways in some of its parts is far from uniform. Leaving aside the vast expanses of Siberia, the Central Asian region, and the Steppe Territory, where the existing and projected main railroads should serve as the basis for the future railway network, we will only note that even within European Russia, railway availability varies greatly as per individual regions. The least served are the Upper Volga and Kama Territory, which is quite natural, since the water system is significantly developed in it, and therefore this land, in terms of the time it was divided by railways, had to give way to areas that are less rich in terms of waterways. But nevertheless, the time has come now for it also, the time when the construction of railways must be considered absolutely urgent.

In the rest of European Russia, it is possible to note, mainly, two wide bands, less served, both stretching from the north-east to the south-west. The axis of the first, eastern, strip stretches approximately from Simbirsk to Novorossiysk, the second, western, from Vologda through Mogilev to Rovno. Between them there is a more serviced strip oriented from Moscow to Yekaterinoslav.

Obviously, in the most graphic way, the degree of railway service in European Russia in parts could only be depicted by physical means. For this purpose, the interdepartmental Commission formed under the Ministry of Ways of Communication for development of a program of railway surveys for the coming years has published cartograms, that were allocated by Organising Committee a place at the anniversary exhibition. They indicate, more fully than any report, the relative intensity of railway services in individual provinces.

We have already noted how widely the railway construction should still progress in order for Russia to equalise with neighbouring states in this respect.

The figures given by us could not but seem impressive and the task is gigantic.

But if we remember that 2 050 versts were built during first twenty-five years, 22 250 versts during second, and 36 415 versts during third twenty-five years, which is now being completed, then there can be no doubt that the fulfilment of the planned major task will be within the capabilities of our vast Fatherland.

We must not forget that vast areas are still far from the railway tracks and cannot come out with their still untouched wealth to the world market at the excessive cost of transportation expenses. From the common space of European Russia of 4 227 000 sq. versts, excluding areas north of the 62nd parallel, terrain with a total surface of 1 780 000 sq. versts or 42 % are further than 30 versts from the railways, terrain of the surface of 1 120 000 sq. versts or about 25 % are further than 50 versts.

Indeed, we still suffer from the excess of distance.

Some point out the water-rich river routes, as a mighty opportunity for transportation of bulk cargo; however, one of the main conditions for the broad development of industry and trade are the routes ensured by the continuity of action, and here, namely, the railways should act as allies of the river routes, working together for the benefit of common goals.

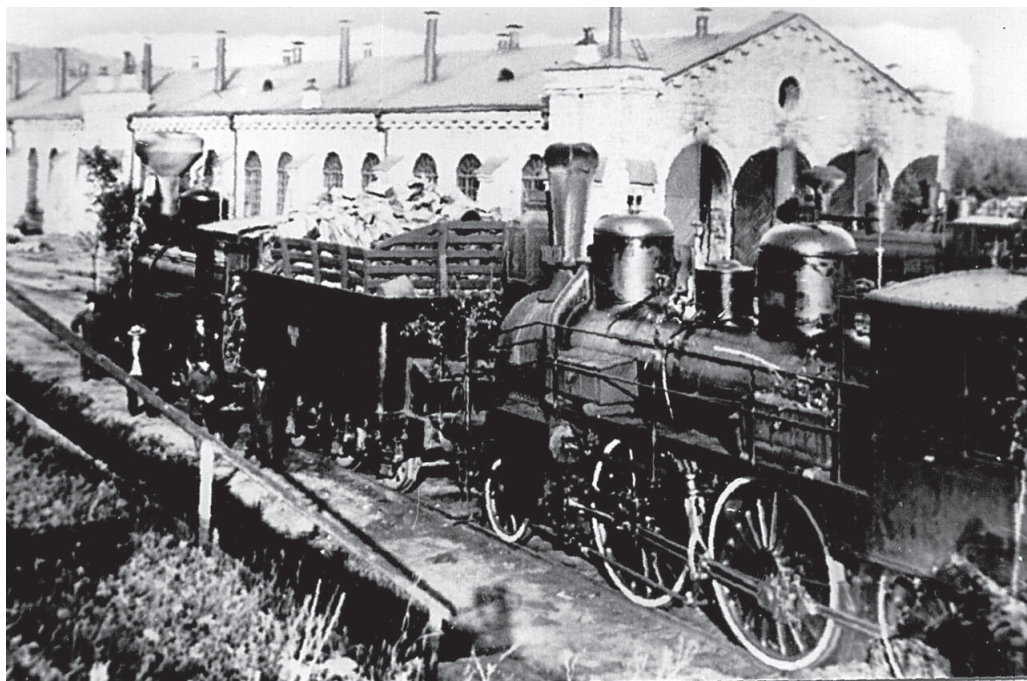
When for the first time mankind began to have at its disposal a new powerful instrument of transportation – the railway, which opened communication routes in directions not predetermined by nature, but chosen for considerations conform with emerging needs, it is quite understandable that all efforts, all costs were directed towards the creation of these new land communications.

These paths did not stop in front of mountain barriers and manual streams, they worked continuously, awakening productive forces everywhere, creating trade, raising the welfare of the region. Having ploughed up the fields lying in vain, raising the mountain wealth hidden in the bowels of the earth, opening up access to new sales markets, the railways created a previously unheard-of totality of cargo, which in the end was unbearable for them. And then the temporarily forgotten waterways rushed to their rescue.

The need for enhanced arrangement and development of waterways was a direct consequence of the tremendous cultural work of the railways, and we see that in the west serious concerns now refer to expanding old and creating new water communications. The same should be with us, and our railways will create a need for movement of an enormous abundance of goods, and waterways, already now being prepared for the tasks ahead of them, will come to their aid, not in the form of rivals to the railways, but as an allied force.

In conclusion, let me touch on one issue. There are fears that widespread railway





construction may threaten the financial well-being of the country, that the capital spent on construction of railways will not pay off and will require annual surcharges, that railway losses will have to be covered from other resources, from tax funds.

But is it correct to evaluate railways with a measure applied to commercial enterprises, to proceed from the scale of their self-sufficiency? Are they not rather a means for a broad rise in the general welfare of a vast state economy, a means like a special access way built for a large industrial enterprise, without which the enterprise could not develop, could not extract income from the sale of its products, due to the impossibility or because of a high cost of their delivery to the markets?

It is enough to dwell on one consideration. As mentioned, within European Russia, in its part to the south of parallel 62°, passing approximately through Petrozavodsk, Shenkursk, Yarensk, areas with an area of up to 1 120 000 sq. versts, are located at a distance of 50 versts and more from the railways. Assuming that with development of the railway network, these areas will, to a greater or lesser extent, be included in the sphere of direct influence of the railway track, that, finally, in this case, an increase in the value of land will occur, on average, by twenty roubles per tithe, and the total increase in land value would be expressed as the sum in 2 240 million roubles,

i.e. would be equivalent to the cost of building more than 40 000 versts of railways.

It would seem that the task of the railway financial policy should, among other things, be that this increment in land value caused by railway construction is taken into account in one way or another in the railway balance.

In any case, there is no doubt that the rouble spent on construction of railways is, as it were, a rouble, although buried in the ground, but increasing its value by more than its own price.

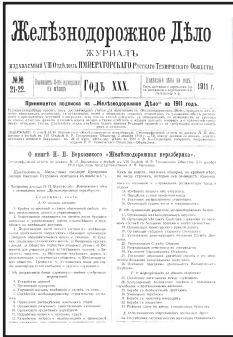
We celebrate today the seventy-fifth anniversary of the first Imperial Decree, which bestowed upon Russia the first railway and set it on the path it has followed steadily since then. May it be allowed to express on behalf of the Railway Department of the Imperial Russian Technical Society firm confidence that in the next twenty-five years our railway network will powerfully develop and expand so that on the day of the solemn celebration of the centenary railway anniversary, those who are destined to meet, God willing, in the vast hall of the renovated building of the Imperial Russian Technical Society, could proudly note the further mighty growth of our network and its enormous importance for the cultural upsurge and well-being of our dear Motherland (*prolonged applause*).

O. A. Struve

Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business],
1911, Iss. 17–19, pp. 124–128) ●



Self-Propelled Cars on Russian Railways



News from the archives

A note in *Zheleznodorozhnoye delo* [Rail Business] journal published in 1911 offered to its readers news about first feasibility study commissioned to build self-propelled cars or, in modern terms, railcars. It was supposed that several models with different engines (including electrical one) will be tested. Despite long discussions about economic efficiency of such vehicles as compared with ordinary multi-coach trains, one could witness rational declarations about their suitability for suburban and city transportation on the routes with smaller passenger turnover.

Keywords: history of transport, self-propelling coach, railcar, suburban traffic.

A special commission formed under the Ministry of Railways, under the chairmanship of a member of the Committee of the Management of Railways, N. K. Hoffman, completed the development of technical conditions that must be met by the new self-propelled cars proposed for construction. Initially, it is planned to order 10 self-propelled cars with different engine systems (electric, steam and internal combustion). After testing, self-propelled cars with a better engine system will be ordered for the needs of state railways both for servicing suburban traffic and for

replacing local trains with them in those areas where the appointment of individual trains seems to be unprofitable («*Vestnik putei soobshcheniya*», Iss. 5, 1911).

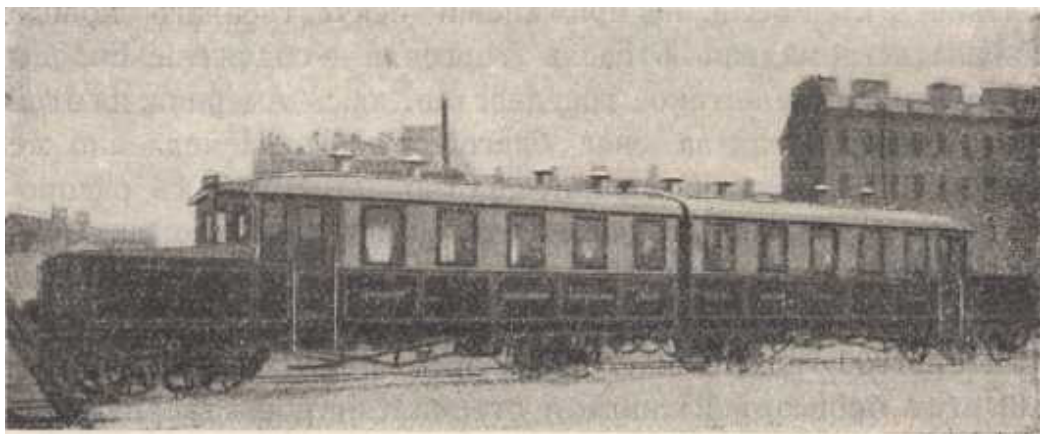
We welcome this initiative, which was probably undertaken thanks to the initiative of Moscow–Vindau–Rybinsk Railway Society, which arranged the same two-carriage train to be used for traffic, as an experiment, on its Tsarskoye Selo line, with a battery electric motor.

As for the Imperial Russian Technical Society, the first report in VIII Department of our Society on steam self-propelled cars was made by

For citation: Self-Propelled Cars on Russian Railways. *World of Transport and Transportation*, 2021, Vol. 19, Iss.5 (96), pp. 245–246.
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-14>.

Acknowledgments. The editorial board expresses their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their assistance in preparing the publication.

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.



New electric battery car of Bryansk plant.



pastvu.com/202069 uploaded by 1qa2ws

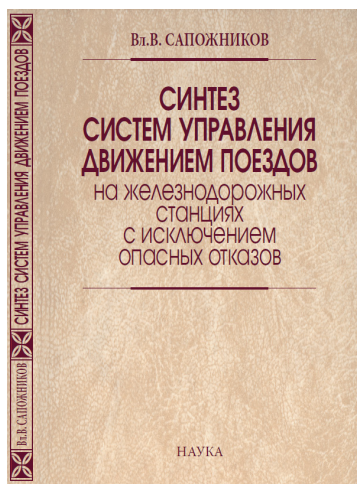
Rzhev station of Moscow-Vindau railway.

N. I. Tchaikovsky back in 1881, on October 21, i.e. more than 29 years ago (see «*Zheleznodorozhnoe delo*» of 1882, p. 3). This was the first type of separately riding cars for short branch lines and main lines. Such cars in Russia have not received wide distribution, mainly due to our exclusive view of passenger traffic, in terms of its unprofitableness, and of passengers as cargo to be transported, if possible, without loss, and not as individuals who conduct the whole life of the country, including formation of real cargo, the transportation of which is profitable for the railways. The aforementioned exceptional view requires large trains to reduce unprofitability, while the convenience of the population, in general, increases with the grown number of trains per day and with their

distribution by hours of the day in accordance with local interests. Establishing the most successful correspondence in implementation of these two principles – the requirement of economy and the requirements of life – is the subject and art of operating railways.

«*Zheleznodorozhnoe delo*» contains a lot of information about self-propelled cars and local trains: 1883, pp. 212 and 294; 1884, p. 280; 1888, p. 79; 1889, p. 123; 1890, p. 278; 1893, p. 443; 1896, pp. 31, 136 and 162; 1902, pp. 31, 198 and 362; 1905, p. 28; 1908, p. 73; 1909, p. 63.

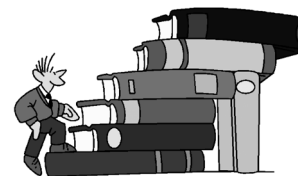
**(*Zheleznodorozhnoe delo*
[Rail Business],
1911, Iss. 8, P. 54; Iss. 25, P. 184) ●**



**CONTROL,
AUTOMATICS,
TRANSPORT**

248

Review of the book dedicated to the synthesis of the systems of train traffic control at railway stations that provide for elimination of dangerous failures.



BIBLIO-DIRECTIONS



**SELECTED
ABSTRACTS
OF D.SC. & PH.D.
THESIS**

251

- Automation of the synthesis of interdependencies of the position of switches and readings of traffic lights in electrical interlocking systems.
- Influence of operating modes on the technical condition of locomotives.
- Optimisation of energy consumption for traction of trains based on a refined method of traction calculations.
- Interaction of a soil massif with a screen made of a rarefied row of piles.
- Implementation of ESM quality strategy in the conditions of industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan.

**NEW BOOKS
ON TRANSPORT
AND TRANSPORTATION**

256

New editions appeared in Russian publishing houses.





Review of the Book «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures»



Dmitry V. Efanov

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ TrES-4b@yandex.ru

Dmitry V. EFANOV

Sapozhnikov, VI. V. Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures. Moscow, Nauka publ., 2021, 229 p. ISBN 978-5-02-040877-7.

The article provides a short review of the just published book by Professor VI. V. Sapozhnikov entitled «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures».

The book covers the basics of the synthesis of safety train traffic control systems at railway stations. Control systems at the stage of abstract synthesis are represented in the form of a

set of multitudes of finite state machines, the implementation of which excludes the conditions for occurrence of dangerous failures and, accordingly, for occurrence of catastrophic disruptions in work, causing threats to passengers and transported goods.

The book is recommended to developers of systems of control of responsible technological processes, computer-aided design systems, testing, technical diagnostics and monitoring of automation devices in transport and industry, as well as to the students, Ph.D. students, academia, specialists in the field of synthesis of control systems.

Keywords: train traffic control, railway stations, failures, synthesis of control systems.

For citation: Efanov, D. V. Review of the book «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures». World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19, Iss. 5 (96), pp. 248–250. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-16>.

*The text of the review article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи-рецензии на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

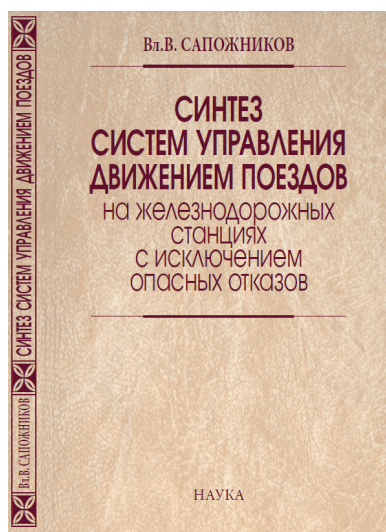
A large number of works devoted to the problems of building safety control systems in transport and in industry have been published since the inception of methods for their synthesis, both on a relay and on a microelectronic and microprocessor basis up to the present time. Technologies and element base are constantly being improved, moving forward in conformity with scientific and technological progress. Both the components and the methods of implementation of devices based on them are changing, their dimensions are decreasing, the thresholds of the elements are diminishing, etc. Those large devices that half a century ago performed the simplest operations of turning on or off control objects are being replaced by devices that are sometimes difficult to be distinguished with the naked eye. Humanity is moving from implementation of low-functional devices to multifunctional ones, capable of being placed in a space of minimal volume. The effect of progress should be emphasized in the field of, for example, microelectronics: movement of trains at a railway station may well be controlled by a modern smartphone instead of a whole installation of electrical interlocking. Another question, of course, is provision of reliable and safe execution of control algorithms using miniature technology!

In the autumn of 2021, a book, unique in its content, was published, written by our compatriot and a prominent scientist in the field of railway automation and remote control. Honored Scientist of the Russian Federation, D.Sc. (Eng), Professor Vladimir Vladimirovich Sapozhnikov (Pic. 1), who made a colossal contribution to development of methods for the synthesis of reliable and safe control systems in transport industry. The book was entitled «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures» (Pic. 2) and covered the fundamentals of abstract and structural synthesis of control systems at railway stations.

It should be noted that in a large number of countries, railway networks are fragmented into stations and hauls. At the stations, in contrast to the hauls, there is a track development, railway switches are installed, and all the main operations are performed with cars, locomotives, trains. That is why the most important issue is to organise traffic control at the station. On the haul, this process has by now been brought to automatism:



Pic. 1. Vladimir Vladimirovich Sapozhnikov (1940–2020), author of the book.



Pic. 2. Cover of the book «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures».

traffic lights are actually switched by moving trains themselves. To regulate the movement of trains, shunting trains and locomotives at stations, the technical means of railway automation and remote control are used, which are enacted by the station attendants (in a number of systems, auto-action modes are provided). Control systems are implemented in such a way as to exclude both impact of human factor on safety of algorithm execution and the influence of external and internal destabilising factors. Thus, the task of implementing circuit solutions for reliable and safe implementation of control algorithms for automated objects at stations is



the most important. In the reviewed edition, attention is focused precisely on solving this problem.

In the book, the circuits of railway automation and remote control are presented in the form of single-cycle (combinational) and multi-cycle (with memory) finite state machines (FSMs). The scientific task of synthesising safety FSMs is stated, such automatic device should exclude false influences during operations, causing switching on of controlled objects and performance of functions that are not included in the algorithms. From a practical plane, the author transfers the solution of the problem into a theoretical one, due to the use of the algebra of regular events. And the dangerous transitions from state to state themselves are excluded at the stage of abstract synthesis of the FSM.

The most important provision (the theorem on safety automata) for the theory of synthesis of safety control systems in the form of finite automata is formulated: there are no dangerous failures in operation of a FSM if and only if for all false transitions $S_i \rightarrow S_f$ and for all false events k the condition is satisfied:

$$E_{S_i \rightarrow S_f} E_{f(k)} \cap E_{dan_k} = \emptyset,$$

where $E_{S_i \rightarrow S_f}$ – a set of words corresponding to false transitions of FSM from state S_i to state S_f ;

$E_{f(k)}$ – a set of words that transfer FSM from state S_f to the states representing false events from the set E_k ;

E_{dan_k} – a set of words that transfer the FSM into dangerous states.

The conditions introduced by the author based on regular expressions made it possible to formulate algorithms for the synthesis of FSM that exclude their transitions to dangerous states in case of any failures, the probability of which must be considered. To exclude dangerous failures in the FSM, it is sufficient to prohibit all dangerous false transitions.

The book is divided into four chapters, covering the following main topics:

1. Basics of synthesis of FSMs eliminating dangerous failures.
2. Basics of synthesis of circuits on a relay basis eliminating dangerous failures.
3. Basics of abstract synthesis of electrical centralised interlocking.
4. Basics of structural synthesis of electrical centralised interlocking.

For each chapter, the author offers brief conclusions that focus the reader's attention on the main provisions that determine the features of the analysis and synthesis of safety FSMs and circuits for electrical centralised interlocking of switches and signals.

It is noteworthy that the results described by the author in the book are not tied to a specific element base, and all considered implementations are in fact examples of synthesis of control circuits on a relay basis and on the simplest gates. The described theoretical foundations are not only relevant for the current stage of development of the transport industry but will also be in demand in the future. It is difficult even to cover the period during which this book will still «remain modern». Moreover, the theoretical foundations described in the book can be easily extended to other practical applications both in the transport sector and in the industry.

Based on practical experience, it should be noted that this publication will be useful to engineers and developers of safe control and monitoring systems. Using the materials of this book would help to solve a large number of questions. Currently, a number of engineers and developers are forced to repeat the path already taken by the author, although it is more correct to use the accumulated experience and enhance the results shown in the book.

The book of Professor V. V. Sapozhnikov «Synthesis of Systems of Train Traffic Control at Railway Stations Eliminating Dangerous Failures» is recommended for reading not only by engineers, developers, students, Ph.D. students and academic staff in the field of railway automation and remote control, but also by specialists in the field of synthesis of control systems in other railway, transport and industrial sectors. ●

Information about the author:

Efanov, Dmitry V., D.Sc. (Eng), Associate Professor, Professor at the Department of Railway Automation, Remote Control and Communication of Russian University of Transport, Moscow, Russia, TrES-4b@yandex.ru.

Article received 18.09.2021, accepted 05.11.2021.

*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/10.30932/1992-3252-2021-19-5-17>

World of Transport and Transportation. 2021. Vol. 19. Iss. 5 (96). pp. 251–255.

Gordon, M. A. Methods and algorithms for automating the synthesis of interdependencies of the position of switches and readings of traffic lights in electrical interlocking systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Metody i algoritmy avtomatizatsii sinteza vzaimozavisimostei polozheniya strelok i pokazanii svetoforov v sistemakh elektricheskoi tsentralizatsii. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 16 p.

The main goal of the dissertation research is to improve the methods and algorithms for automating the synthesis of the interdependencies of the position of switches and signal indications within the routes of electrical interlocking (EC).

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

- A digital model of the table of dependence of the position of switches and signal readings of traffic lights in routes (TVZ) was proposed, which allows storing all information about the dependencies of EC of the station.

- Methods for automated synthesis of TVZ based on a digital model of a schematic plan have been developed, which make it possible to reduce the cost of its creation by 10–12 times.

- The features in the EC dependencies at docking stations of various types of traction current are described and algorithms for the automated synthesis of TVZ at such a station are developed.

- Algorithms for the automated synthesis of tables of preliminary tests, individual «no-load» tests, tests during complex testing, included in the electronic test log (ETL), using templates have been developed.

- A block diagram of a digital model of functional verification of projects of EC systems was designed based on a universal electronic format of technical documentation.

The following main results were obtained in the work:

- It was found that a large number of errors in projects of railway automation and telemechanics (RAT) can be avoided with development and implementation of effective computer-aided design

systems and automated examination of design solutions.

It was found that for information compatibility of various tasks in the automation and telemechanics departments of JSC Russian Railways, it is necessary to formalize the submission of project documentation, to create a universal electronic format for technical documentation (UEF TD).

- The data structure of electronic TVZ in UEF TD is proposed, presented in the form of five elements. The composition and requirements for the algorithms for the automated synthesis of TVZ are determined.

- An algorithm for automated synthesis of the route table using a digital model of the station topology in the form of a directed graph, developed on the basis of the depth-first search method, made it possible to ensure the correctness and completeness of the set of possible routes.

- Using the pattern search method, algorithms have been developed for the automated synthesis of cases of additional closure of switches and oversized switch-track sections and a table of interdependence of readings. This ensures that the templates are adjusted at the level of the initial data without changing the algorithms.

- A separate type of station is a docking station of various types of current, the features of the dependencies of the EC system of which have not been previously described anywhere. At such stations, the EC additionally controls the type of current (direct or alternating) in the contact network. A method for formalizing TVZ docking stations based on the formation of a second-level graph of overhead contact network elements is proposed.

- Experimental studies have shown that the use of the proposed methods and algorithms for the automated synthesis of TVZ can increase labour productivity by 10–12 times.

- Carrying out a check of technical documentation requires maintaining an ETL, which must include the test tables necessary for a particular station and can store the reference values of checks. This log can also be used during commissioning. The proposed algorithms for the synthesis of ETL tables substantiate the completeness of the necessary checks for examination by the fact that they are developed based on standard test methods for a specific EC system, which describe the necessary and sufficient list of tests.

- The developed scheme of a digital model for functional verification of projects of EC systems based on UEF TD allows checking the technical documentation of the project for compliance with regulatory documents and check the operability of circuit solutions.

05.22.08 – Management of transportation process.

The work was performed and defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

Khromov, I. Yu. Analysis of the influence of operating modes on the technical condition of locomotives. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Analiz vliyaniya rezhimov ekspluatatsii na tekhnicheskoe



A significant and most large-scale change in the railway complex within the framework of the reform is separation of the operation function and the function of technical maintenance and repair (TMR) of locomotives, to support the activities of which, the following subdivisions have been created: the Traction Directorate (CT) – a branch of JSC Russian Railways and the Traction Rolling Stock Repair Directorate (CTR) – a branch of JSC Russian Railways. To improve the quality of TMR and the locomotive operation system, since July 1, 2014, the main TMR functions have been transferred to private service companies (LLC TMH Service (now LocoTech-Service) and LLC STM-Service), whose work is not paid for the number of repairs performed, but for the useful work of locomotives – kilometers traveled for mainline locomotives and operating hours for shunting locomotives. Due to this, an interest arose in increasing the maintenance-free runs of locomotives, increasing their useful work, improving the technical condition of the locomotive fleet.

The objective of the study is to increase reliability of locomotives by identifying patterns between operating modes and the technical condition of locomotives according to data from on-board microprocessor control systems of locomotives for use in automated maintenance control systems under conditions of service repair locomotive depots.

Scientific novelty of the thesis:

- Scientifically proven or confirmed patterns between violations of operating modes (NRE) of locomotives and their technical condition.

- Development of improved scientifically grounded classifier of violations of operating modes with an indication of their possible impact on the technical condition of locomotives.

- Development of a method for protecting locomotives from dangerous violations of operating modes using on-board microprocessor control systems for the existing and expanded set of sensors for the technical condition of locomotive equipment.

- Development of a method for automated planning of the scope of maintenance and repair of locomotives in the conditions of service locomotive depots in the presence of violations of operating modes.

- A feasibility study of the practicability of implementing the proposed technical solutions has been completed.

As a result of the research carried out, new complete scientifically grounded technical and technological solutions have been obtained, aimed at increasing the efficiency of the functioning of the locomotive complex of JSC Russian Railways. The main scientific and practical results of scientific research are as follows:

- The regularity between violations of operating conditions and deterioration of the technical condition of locomotives was scientifically substantiated, for which an expanded volume of statistical data on operation of locomotives was processed (more than

21,1 million events in 12 months at 85 service locomotive depots) using the methods of probabilistic-statistical and correlation analysis, which made it possible to identify the presence of violations of the operating modes of locomotives, significantly affecting their technical condition. The main violations should be considered violations associated with non-observance of temperature regimes of coolants and non-observance of speed regimes when following a leading ascent. The analysis of physical processes and correlation analysis made it possible to identify the resulting failures or deterioration of the technical condition, with the most susceptible to the influence of diesel and diesel equipment of freight diesel locomotives (for passenger and shunting locomotives, the influence is less), traction motors and a wheel-motor unit of main-line freight diesel locomotives and electric locomotives, moreover, regardless of the year of manufacture. At the same time, the correlation coefficient between various violations and the presence of failures ranged from 0,537 to 0,989. The average value of the correlation coefficient for the studied dependencies was 0,805, which makes it possible to judge the presence of a high correlation between violations and equipment failures. In TMR system, it is necessary to take into account the operating modes of locomotives.

- Based on the conducted scientific research, an expanded classifier of typical (occurring in practice) violations of operating modes has been developed, indicating the consequences that they can have on the technical condition of the locomotive. The classifier consists of 54 violations, defined by more than 30 locomotive series and groups of series. The classifier has been agreed with service companies, approved and put into effect by the Traction Directorate of JSC Russian Railways in the locomotive service system.

- To protect locomotives from hazardous operating modes, a set of algorithms has been developed that are implemented in the software of the on-board MSU of diesel locomotives of TEP70BS series of registration TChE «Saratov-Passazhirscoe», 2TE116U registrations TChE «Dno» and 2 (3) TE10MK (UK) registrations TChE «Komsomolsk-on-Amur». Algorithmic protection made it possible to reduce the number of unscheduled repairs of protected equipment by an average of 3 times.

- An extended set of sensors was proposed: it is necessary to additionally monitor the temperature of the traction electric motor (anchor, main and additional poles), the temperature of the ambient air and vibration acceleration of the locomotive undercarriage. The rest of the existing set of sensors is sufficient to control the operating modes.

- For the automated TMR system, a method has been developed for the practical use of data on the operating modes of locomotives for the individual formation of the volume of repairs for scheduled and unscheduled types of maintenance and repair, which is an automated workstation for a diagnostician with the module «Correlation NP-NRE» developed for ASU TMR of the group of companies LocoTech and put into operation in 85 service locomotive depots.

Based on the analysis of data for 12 months of 2018 on unscheduled repairs that occurred due to violations of operating modes, a matrix of the impact of violations of operating conditions on locomotives was developed, which allows timely assessing the most susceptible to violations of a series of locomotives and their equipment and developing appropriate corrective measures that are relevant in specific study period.

The effect of implementation of the research results is achieved by reducing the cost of unscheduled repairs, reducing the number of violations of operating conditions and reducing the labor intensity in the study of NR. There are certificates on implementation of research results.

As recommendations for further increasing reliability of locomotives, improving their technical condition and eliminating the negative influence of the human factor, it is recommended to organize continuous monitoring of the technical condition and operating modes according to the data of on-board MSU with remote (online) data transmission to service enterprises for preliminary work planning and ordering spare parts and materials, improvement of maintenance and repair methods with a gradual transition to repairs based on the actual technical condition.

05.22.07 – *Railway rolling stock, train traction and electrification*

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Malakhov, S. V. Optimization of energy consumption for traction of trains based on a refined method of traction calculations. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Optimizatsiya energozatrat na tyagu poezdov na osnove utochnennogo metoda tyagovykh raschetov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 20 p.

Reducing the energy consumption for traction of trains can be achieved in several ways: development of methods of energy-optimal rationing in cases of manual train driving, development and implementation of energy-optimal automatic train driving systems, an increase in the energy efficiency of traction rolling stock (TRS), an increase in the energy efficiency of power supply sources, etc.

The first two directions do not require significant investment and can be implemented through the application of the applied part of the theory of train traction – traction calculations. However, the methods for performing traction calculations until recently did not allow simultaneously increasing the accuracy, reducing the calculation time and reducing the need for computing resources, which is especially important for automatic train control or for performing many parallel calculations. The proposed integrated approach makes it possible to expand the possibilities of using traction calculations in systems requiring the solution of optimization problems under constantly changing conditions.

Thus, the task of reducing energy consumption for traction of trains is relevant and can be solved by improving the methodology of traction calculations in terms of increasing accuracy while reducing the time spent on the calculation, which is important for use in promising unmanned train control systems.

The objective of the dissertation is to improve the method of traction calculation for obtaining energy-optimal trajectories of train movement and software implementation of the proposed method.

Scientific novelty:

a) Development of a method of traction calculation using ANN for a train model in the form of discrete bodies and a locomotive with discrete traction control.

b) An efficient numerical implementation of the optimal traction calculation method based on the Bellman principle of optimality is proposed, characterized in that energy-optimal trajectories are found for all possible travel times along the section, and adapted for ANN training.

c) A software package has been developed for the operational regulation of energy consumption for traction of trains with continuous training of the neural network.

d) The architecture was chosen and the specifics of the placement of the neural network as an optimal train traffic controller in an isolated software environment for promising locomotive microprocessor train traffic control systems was determined.

An analysis of the methods of traction calculations is carried out, as a result of which a conclusion is made about the feasibility of obtaining the only best vector of train controls. Therefore, the problem of optimal traction calculation is formulated in order to reduce energy consumption and a method for its solution is determined.

A modern mathematical apparatus was selected that is most applicable for solving the formulated optimal problem.

An algorithm and software based on it for performing optimal traction calculations have been developed.

The results of traction calculations performed by the developed software are analyzed in terms of applicability for practical tasks. Significant limitations of the developed software have been identified, which require the use of a search for new methods for performing traction calculations.

A new improved method has been developed for performing optimal traction calculations with increased accuracy, with less time and computational resources. The main advantage of the developed method is a decrease in regulation time and a decrease in energy in relation to simplified models, a decrease in hardware requirements, both in stationary use and in conditions of work on board a locomotive, as well as continuous improvement of solutions through additional training.

A comparative analysis of a new method for performing optimal traction calculations with Bellman's method under conditions of stationary use is carried out. The results obtained show the



achievement of the set goals for development of an improved method of traction calculations.

A mechanism has been developed for introducing new software for optimal traction calculations based on the ANN method into promising locomotive train control systems. The developed ANN method allows the use of unified hardware for various types of trains, which means it can organically fit into the architecture of promising on-board safety, control and diagnostics devices, which ensures fulfillment of the requirements of the digital railway concept and contributes to fulfillment of the indicators of long-term development plans of JSC Russian Railways directorates.

05.22.07 – Railway rolling stock, train traction and electrification.

The work was performed and defended at Russian University of Transport.

Morozov, E. B. Study of the interaction of a soil massif with a screen made of a rarefied row of piles. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Issledovanie vzaimodeystviya gruntovogo massiva s ekranom iz razrezhennogo ryada svai. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT publ., 2021, 24 p.

The objective of the thesis is to develop a methodology for determining optimal design parameters of a protective geotechnical screen from a rarefied row of piles, depending on the required degree of reduction of additional settlement of a nearby building.

One of the main design solutions for pit fences in difficult engineering and geological conditions and a high level of groundwater standing is a monolithic reinforced concrete «wall in the ground» of a trench type, the use of which in cramped conditions of urban construction is complicated by the significant impact of its design on surrounding buildings. According to the available data, additional settlement of buildings of surrounding development caused by the installation of a trench under the «wall in the ground» can reach 80 % of the total additional settlement caused by construction of a new facility.

A possible variant of protective measures to reduce the effect of the «wall in the ground» arrangement on the settlements of surrounding buildings is a geotechnical screen made of a rarefied row of piles, the effectiveness of which for this purpose is shown by numerical studies performed in this thesis, according to which the settlements of the protected building due to the arrangement of the said screen can be reduced by 30...75 %.

The studies carried out have established that efficiency of using a screen from a rarefied row of piles, characterized by the efficiency coefficient K_{ef} increases with an increase in the diameter and length of piles and decreases with an increase in the distance between them, the depth of the trench and its distance from the building, as well as with an increase in the modulus of deformation of the soil massif.

The factor analysis, based on the theory of experiment planning, determined that the depth of the trench being developed has the greatest influence

on efficiency of using a geotechnical screen from a rarefied row of piles to protect buildings and structures of surrounding development from development of additional settlements caused by installation of a trench under the «wall in the ground», its distance relative to the building foundation, the diameter and length of screen piles, the modulus of deformation of the soil mass and the relative axial distance between piles have a lesser effect. When calculating the geotechnical screen, all of the above factors should be considered as significant.

It is shown that the use of a protective screen from a rarefied row of piles is most effective when it is installed to a depth of no more than 1,2 of the trench depth and its location closer to it. The efficiency of the screen is significantly higher in sandy soils compared to clay soils.

Calculations have shown that the construction of screen piles from bored piles, made with excavation, significantly reduces the coefficient of efficiency of its use to protect against development of additional settlement of buildings located in the zone of influence of construction. A screen made of metal screw-in piles is more effective.

The established functional dependencies (regression equations) of the efficiency coefficient of the geotechnical screen application from variable factors, presented in the form of nomograms, for different soil conditions and two pile manufacturing technologies, make it possible to significantly simplify the selection of the main dimensions of the protective pile structure.

The developed method for optimizing design parameters of a geotechnical screen from a sparse row of piles, which allows choosing such a combination, in which additional settlements of the building caused by development of a «wall in the ground» of a trench type will be reduced to the specified values while at the same time achieving the best technical and economic indicators of the screen in terms of consumption material.

Analytical solutions obtained using classical solutions of soil mechanics, describing the physical process of interaction of elements of the system «trench – soil massif – geotechnical shield – building foundation», can be used to check the results of numerical calculations, as well as to perform preliminary calculations of geotechnical screens and additional sediment of the foundations of the buildings they protect according to simplified schemes.

The calculation algorithm developed on the basis of the conducted analytical studies allows, by varying design parameters of the protective shield, to determine their combination, in which the additional settlement of the building caused by development of the trench under the «wall in the ground» will be reduced to the specified values with a minimum consumption of materials by 1 p.m. of its arrangement.

05.23.02 – Bases and foundations, underground structures.

The work was performed by National Research Moscow State University of Civil Engineering, defended at Russian University of Transport.

Zhetesova, G. S. System mechanisms of interaction in implementation of ESM quality strategy in the conditions of industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sistemnye mekhanizmy vzaimodeystviya pri realizatsii strategii kachestva ESM v usloviyakh industrialno-iovatsionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan. Avtoref. dis... doc. tekhn. nauk]. Moscow, MAI publ., 2021, 44 p.

As a result of dissertation research, the scientific problem of developing systemic mechanisms for implementation of a new ESM quality strategy, based on formation of a network distribution of responsibility of subjects of education, science, and production, and which is of great economic importance for industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan, was solved.

The sets of indicators have been established within the framework of the formulated basic strategies, considering the factors of intersectoral influence of education, science and production based on a cross-analysis of regulatory legal acts, program documents of the Republic of Kazakhstan, conclusions of domestic and foreign experts, processing a large amount of statistical data and identified priority areas of development.

Responsibility for implementation of a set of joint activities and the levels of mutual influence of the subjects of ESM triangle are formulated, the structural elements of the process of intersubjective interaction and the personal contribution of the subjects to achieve the set goal, focused on the result, are identified.

A subject-by-subject methodology for implementation of a complex of strategic decisions based on a qualitative analysis of risks by the levels of their influence has been developed.

A mathematical model has been developed that establishes the relationship between the groups of assessment criteria and development indicators with the following boundary conditions: development indicators $D \in \text{clusters } C_1 \cup C_2 \cup C_3 \sum D = 1$, specific weight $x \in D$, while $\sum x = 1$, with the principle weighting factor $P_i > 0,05$, $\sum P_i = 1$. A sequence of criteria with the calculated coefficient of multiple rank correlation of the agreement of experts opinions is constructed 0,82.

The concept of ESM quality strategy has been developed in accordance with the identified principles:

- Continuing education – directed formation of the competencies of future specialists, associated with sustainable development of scientific research and production.
- Collective responsibility of subjects of the scientific, production and educational process – training of personnel with competencies, creative thinking and entrepreneurial skills that are in demand in various sectors of the economy.
- Long-term planning – a consistent assessment of the level of demand for engineering and technical

personnel, taking into account development of sectors of the economy.

- Development of human capital – directed, continuous and systematic development of scientific and pedagogical personnel in accordance with the structure of competencies required for an innovative economy.

- Guaranteed demand – personnel training aimed at meeting the needs of the labor market.

- Corporate governance – implementation of a fundamentally new policy of educational organisations in relation to separation of powers and determination of joint responsibility of all participants in the educational process.

- Modernisation of the educational and production environment – purposeful bringing the existing educational, scientific laboratories, information resources of the educational organisation in line with the basic needs of production.

A distinctive feature of ESM quality strategy concept is that its application ensures distribution of responsibility between the subjects of interaction «Education», «Science», «Production» for quality of the final result which is cumulated human capital.

The methodology for implementation of a set of strategic decisions within the framework of ESM quality strategy has been introduced in 87 educational institutions of the Republic of Kazakhstan, at 101 industrial enterprises and research institutes of the Republic of Kazakhstan. The sustainability of the implemented quality strategy is confirmed by an expert assessment. The results of the thesis are used in the educational process in training of students, Ph.D. students and D.Sc. students.

The developed model is sensitive to aspects of state policy, and its further development and adaptation in EAEU countries is proposed as recommendations for application of the results of thesis research.

Prospects for further research development are:

- An in-depth study of peculiarities of distribution of responsibility with an increase in the number of external factors.
- Expanding the field of research on implementation of possible strategies based on combinations of proposed solutions for six or more lines of influence of external and internal factors.
- Detailed study of the processes during renewal and expansion of intersubjective relationships in the context of changes in the priority directions of the state policy of the Republic of Kazakhstan.
- A study of flexibility and applicability of ESM quality model in the context of a shift in emphasis on science and production.
- A study of the possibility of transforming the model with an increase in the subjects of interaction and a change in its configuration.

05.02.23 – Standardisation and product quality management.

The work was performed and defended at Moscow Aviation Institute (National Research University). ●





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

The list of titles originally edited in Russian is published in the first part of the issue.

Список изданий на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-18>
World of Transport and Transportation, 2021, Vol. 19,
Iss. 5 (96), P. 256

Abyazov, E. K., Abyazov, K. A. Industrial and technical infrastructure of transport enterprises: Study guide. [*Proizvodstvenno-tekhnicheskaya infrastruktura transportnykh predpriyatiy: Ucheb. posobie*]. Novorossiysk, GMU publ., 2021, 120 p.

Babalich, V. S., Sukhin, K. A., Sukhina, K. N. Normative base in construction: Study guide. [*Normativnaya baza v stroitelstve: Ucheb. posobie*]. Volgograd, VolgSTU publ., 2021, 116 p. ISBN 978-5-9948-3986-7.

Danilenko, M. I. Logistic support of the product life cycle: Study guide. [*Logisticheskoye obespecheniye zhiznennogo tsikla produktsii: Ucheb. posobie*]. Kemerovo, Kemerovo State University, 2021, 112 p. ISBN 978-5-8353-2751-5.

Eremin, A. V., Volokitina, O. A., Gladysheva, O. V., Alimova, N. Yu. Fundamentals of road design: Study guide. [*Osnovy proyektirovaniya avtomobilnykh dorog: Ucheb. posobie*]. Voronezh, Voronezh State Technical University, 2021, 114 p. ISBN 978-5-7731-0958-7.

Gureeva, M. A. Fundamentals of economics of mechanical engineering: Textbook. [*Osnovy ekonomiki mashinostroyeniya: Uchebnik*]. 4th ed., ster. Moscow, Academia publ., 2021, 255 p. ISBN 978-5-4468-9932-6.

Gvilia, N. A. System organisation of corporate logistics in transport business in the context of digitalisation: Monograph. [*Sistemnaya organizatsiya korporativnoy logistiki transportnogo biznesa v usloviyakh tsifrovizatsii: Monografiya*]. St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg State Economic University, 2021, 228 p. ISBN 978-5-7310-5310-5.

Kasyanov, O. N., Tomilin, A. N. Pedagogical conditions for formation of the readiness of future specialists of maritime professions for professional activities in extreme situations: Monograph. [*Pedagogicheskiye usloviya formirovaniya gotovnosti budushchikh spetsialistov morskikh professiy k professionalnoy deyatel'nosti v ekstremalnykh situatsiyakh: Monografiya*]. Novorossiysk, GMU publ., 2021, 126 p. ISBN 978-5-89426-175-1.

Katin, V. D. Ecological and technical studies of burners of furnaces and boilers at oil refining and railway transport enterprises: Monograph. [*Ekologo-tekhnicheskkiye issledovaniya gorelochnykh ustroystv pechey i kotlov na predpriyatiyakh pererabotki nefi i zheleznodorozhnogo transporta: Monografiya*]. Khabarovsk, FESTU publ., 2021, 203 p. ISBN 978-5-262-00900-8.

Kizim, A. A., Bekirova, S. Z., Berezovsky, E. E. Outsourcing and insourcing in management of activities and risks of organisations: international and Russian aspects: Study guide. [*Autsorsing i insorsing v upravlenii deyatel'nostyu i riskami organizatsiy: mezhdunarodnyy i rossiyskiy aspekty: Ucheb. posobie*]. Krasnodar, KubSU publ., 2021, 272 p. ISBN 978-5-8209-1863-6.

Kurochkin, L. E., Podporin, S. A., Kholoptsev, A. V. Recommendations for assessing the impact of Arctic invasions when choosing a sailing route in the North Atlantic: Study guide. [*Rekomendatsii po otsenke vliyaniya arkticheskikh vtorzheniy pri vybore marshruta plavaniya v Severnoy Atlantike: Ucheb. posobie*]. Moscow, Tsentrkatalog publ., 2021, 72 p. ISBN 978-5-903268-54-2.

Limonov, E. L. Foreign trade operations of sea transport and multimodal transportation: Textbook. [*Vneshnetorgovyye operatsii morskogo transporta i multimodalnyye perevozki: Uchebnik*]. 6th ed., enl. and add. St. Petersburg, Module publ., 2021, 663 p. ISBN 978-5-6045830-8-1.

Mishchenko, A. V., Ivanova, A. V. Optimization models for managing limited resources in logistics: Monograph. [*Optimizatsionnyye modeli upravleniya ogranichennymi resursami v logistike: Monografiya*]. Moscow, Infra-M publ., 2021, 250 p. ISBN 978-5-16-016130-3.

Molokov, K. A., Novikov, V. V., Turmov, G. P. [*et al.*] Mathematical models for assessing the service life and performance of ship welded structures: Monograph. [*Matematicheskiye modeli otsenki ekspluatatsionnogo resursa i rabotosposobnosti sudovykh svarnykh konstruksiy: Monografiya*]. Vladivostok, FESTU publ., 2021, 237 p. ISBN 978-5-7444-4945-2.

Nikishov, S. I. Adaptive-integrated logistics and artificial intelligence. [*Adaptivno-integrirovannaya logistika i iskusstvennyy intellekt*]. Moscow, Bely veter publ., 2021, 215 p. ISBN 978-5-907420-13-7.

Opletaeva, N. V., Antereikin, E. S., Demina, O. A. Railway Track: Surveying, Structure, Maintenance: Study guide. [*Zheleznodorozhnyy put: izyskaniya. ustroystvo. tekushcheye soderzhaniye: Ucheb. posobie*]. 2nd ed. Novosibirsk, SSTU publ., 2021, 88 p. ISBN 978-5-00148-209-3.

Poteev, D. A., Tonkikh, A. S., Mitrofanova, N. V. [*et al.*] Assessment of the balanced development of sea transport: Study guide. [*Otsenka sbalansirovannosti razvitiya morskogo transporta: Ucheb. posobie*]. Moscow, Alpen-Print publ., 2021, 51 p. ISBN 978-5-6045948-3-4.

Ruposov, V. L. Fundamentals of project logistics: Study guide. [*Osnovy proyektnoy logistiki: Ucheb. posobie*]. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University publ., 2021, 237 p. ISBN 978-5-8038-1630-0.

Simonyan, T. V., Terenina, I. V., Tsvetkova, S. N. [*et al.*] Marketing and engineering economics: theory, methodology and practice: Monograph. [*Marketing i inzhenernaya ekonomika: teoriya. metodologiya i praktika: Monografiya*]. Rostov-on-Don, DSTU publ., 2021, 235 p. ISBN 978-5-7890-1858-3.

Tsyganskaya, L. V., Tanicheva, N. A., Rakhimov, R. V. Computer-aided design of rolling stock: Study guide. [*Avtomatizirovannoye proyektirovaniye podvizhnogo sostava: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021. ISBN 978-5-7641-1505-4.

Compiled by N. Oleynik ●



«MOSCOW TRANSPORT» CHILDREN'S TECHNOPARK

On September 22, 2021, Moscow Mayor Sergei Sobyenin inaugurated the Children's Technopark that got the name «Moscow Transport», created in Russian University of Transport (MIIT). The main task of the children's technological park is to identify and support talented young people, attract schoolchildren and college students aged 12–18 years to the transport industry and stimulate their interest in engineering creativity. «Today we are opening a new technological park at the Russian University of Transport. Today's schoolchildren and tomorrow's engineers of smart and high-tech transport in Moscow and Russia will take their courses in modern laboratories of one of the oldest and best technical universities in the country», the Mayor of Moscow said. Youth technological park, created with the help of a grant provided by the city of Moscow, implements training

in different area: in GIS-technologies, BIM-technologies, development of intelligent transport systems, VR and AR technologies, basics of design and 3D design, additive technologies in design and production. Training programs are inextricably linked to the needs of the transport industry and the areas of training of RUT students. In the technological park hosts newly created laboratories of industrial design, smart technologies in transport, water transport, as well as a VR/AR laboratory. It is expected that more than 9,400 schoolchildren will attend the youth technological park annually.

**Compiled based on information of the
press-centre of the Ministry of Transport of
the Russian Federation and RUT (MIIT):**

**[https://mintrans.gov.ru/
press-center/news/10041](https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10041) ●**



**World of Transport
and Transportation**

Vol.19, Issue 5, 2021

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
wtjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет
транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: (495)684 2877

e-mail: mirtr@mail.ru

wtjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >