ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

peer-review journal

transsyst.ru

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Том 7, № 2 **2021**

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

«ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Электронный рецензируемый научный журнал
Выходит ежеквартально – 4 раза в год
Основан в 2013 году

ИНДЕКСАЦИЯ

РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)
ВАК (Высшая аттестационная комиссия)
Google Scholar
WorldCat
Crossref
CyberLeninka

КОНТАКТЫ

Адрес: 190031, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, 115, ауд. 9/11-5
E-mail: info@transsyst.ru
WEB: www.transsyst.ru
Телефон: +7 (812) 6198152; +7 (911) 2384445

Научный редактор Ю. Ф. Антонов, доктор технических наук, профессор
Перевод на английский язык А. Ю. Гнатенко
Выпускающий редактор Т. С. Антонова
Редактор сайта А. В. Дитрихс
Литературный редактор Е. В. Васильева
Верстка А. А. Стуканова

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

ЭлNºФС77-53673 от 17.04.2013 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

ОПИСАНИЕ ЖУРНАЛА

Сетевой электронный журнал "Транспортные системы и технологии" публикует статьи фундаментального характера и прикладного направления, а также обзорные статьи, относящиеся ко всем видам транспортной технологии

ПУБЛИКАЦИЯ В ЖУРНАЛЕ

Журнал отбирает материал для публикации из числа присланных для рассмотрения рукописей. В ходе отбора проводится независимое двойное слепое рецензирование членами редакционной коллегии и внешними экспертами. Для публикации рукопись, а также все сопроводительные и дополнительные файлы следует направить в редакцию через личный кабинет на сайте журнала по URL: http://trassyst.ru/
Рукопись и дополнительные материалы следует оформить в соответствии с правилами редакции, см. подробно по https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions

ПОДПИСКА

Журнал распространяется через Интернет без ограничений и по адресно-целевой подписке через редакцию

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2021

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Зайцев Анатолий Александрович,
Д.э.н., профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА, НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР
Антонов Юрий Федорович, д.т.н., профессор ПГУПС,
Санкт-Петербург, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Богданов Александр Владимирович, д.физ.-мат.н., профессор Санкт-Петербургского Государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

Верескун Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор, ректор Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;

Ганиев Ривнер Фазылович, академик РАН, д.т.н., профессор, Директор Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия;

Глухих Василий Андреевич, академик РАН, д.т.н., профессор, Научный руководитель НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия;

Клюшпис Йоханнес, доктор наук 2-й степени, полный профессор Деггендорфской высшей технической школы, Мюнхен, Германия;

Колесников Владимир Иванович, академик РАН, д.т.н., профессор, президент Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов, Россия;

Кручинина Ирина Юрьевна, д.т.н., ВрИО директора Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия;

Линь Гобинь, PhD, профессор, директор Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;

Ли Вэйли, PhD, профессор Пекинского транспортного университета, Пекин, КНР;

Ма Чжисюнь, PhD, старший научный сотрудник Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;

Мулюков Радик Рафикович, член-кор. РАН, д.физ.-мат.н., директор Института проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Россия;

Мыльников Сергей Владимирович, к.биологич.н., доцент, ученый секретарь ООО «Эко-Вектор», Санкт-Петербург, Россия;

Никитенко Владимир Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика» Российского университета транспорта, Москва, Россия;

Никитин Виктор Валерьевич, д.т.н., профессор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия;

Ни Фэй, PhD, младший научный сотрудник, Национальный транспортно-инженерный центр Маглев, Университет Тунцзи, Шанхай, КНР

Панычев Александр Юрьевич, к.э.н., доцент, ректор Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия;

Подсорин Виктор Александрович, д.э.н., профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия ;

Повадол Сирирангси, Dr., Заместитель декана Факультета логистики и управления транспортом Паняпиватского института управления, Паккред, Таиланд;

Соколова Яна Викторовна, к.э.н., MBA, Заместитель руководителя Научно-образовательного центра инновационных пассажирских перевозок ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;

Соломин Владимир Александрович, д.т.н., профессор Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия;

Стэфан Ричард, д.т.н., полный профессор Факультета электротехники, заведующий Лабораторией электрических машин Федерального университета Рио-де-Жанейро, Рио-де-Жанейро, Бразилия;

Терешина Наталья Петровна, д.э.н., профессор, Заведующая кафедрой «Экономика и управление на транспорте» Российского университета транспорта, Москва, Россия;

Титова Тамила Семёновна, д.т.н., Первый проректор – Проректор по науке Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия;

Хан Хьёнг-Сук, PhD, начальник Департамента Маглев и линейных двигателей, старший научный сотрудник Корейского института машиностроения и материаловедения, Тэджон, Республика Корея.

ELECTRONIC PEER-REVIEWED RESEARCH JOURNAL ISSN 2413-9203

FOUNDER AND PUBLISHER
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
St. Petersburg, Russia

"TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY"
Electronic peer-reviewed research journal
Issued 4 times a year (quarterly)
Established in 2013

INDEXING
eLibrary (Russian Science Citation Index)
Higher Attestation Commission of Russia's Ministry of Education and Science (VAK)
Google Scholar
WorldCat
Crossref
CyberLeninka

CONTACTS
Address: 190031, St. Petersburg, 115 Moskovskiy Ave., room 9/11-5
E-mail: info@transsyst.ru
Website: www.transsyst.ru
Phone: +7 (812) 6198152; +7 (911) 2384445

Science Editor Yu. F. Antonov, Doctor of Technical Science, Professor
Translation into English A. Yu. Gnatenko
The Executive Editor T. S. Antonova
WEB- Editor A. V. Dietrichs
Literary Editor E. V. Vasileva
Layout Editor A. A.Stukanova

AIMS & SCOPE
Network electronic journal "Transportation Systems and Technology" publishes articles of a fundamental nature and application areas, as well as review articles pertaining to all types of transport technology

JOURNAL CONTENT SELECTION
The journal selects material based on the double-blind peer-review conducted by members of the editorial board and external experts.
To be published, the manuscript and all accompanying files should be sent to the editorial team through a personal account on the journal's website at: http://trassyst.ru/
The manuscript and additional materials should be prepared and arranged in accordance with the author guidelines (see in detail at: https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions

SUBSCRIPTION
The Journal is distributed via Internet for free and by subscription via Editorial office

© Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2021

TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Vol. 7, Issue 2 **2021**

ELECTRONIC PEER-REVIEWED RESEARCH JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF
Anatoly Zaitsev, Dr. Economics, Professor, PSTU, St. Petersburg, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF, THE SCIENTIFIC EDITOR
Yuri Antonov, Dr.Sc., Professor PSTU, St. Petersburg, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD
Aleksandr Bogdanov, Dr. Physics and Mathematics, Professor, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;
Vladimir Vereskun, Dr. Sc., Professor, Rector of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Rivner Ganiev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, Director Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
Vasily Glukhikh, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc.., Professor, Scientific Adviser at JSC «D.V. Efremov Institute of Electrophysical Apparatus», St. Petersburg, Russia;
Johannes Kluehspies, 2nd Dr.'s Degree, Full Professor at Deggendorf Institute of Technology, Munich, Germany;
Vladimir Kolesnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc.., Professor, the President Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Irina Kruchinina, Dr.Sc., Acting Director of Institute of Silicate Chemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia;
Guobin Lin, PhD, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center (NMTC), Director, Professor, Tongji University, Shanghai, China ;
Weili Li, Ph.D., Professor, Beijing Jiaotong University, Beijing, China;
Zhixun Ma, PhD, Associate Professor, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center (NMTC), Tongji University, Shanghai, China;
Radik Mulyukov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Physics and Mathematics, Director of Superplasticity Metals Institute for Metals Superplasticity Problems at RAS, Ufa, Russia;
Sergey Mylnikov, PhD, Associate professor, Scientific secretary LCC "Eco-Vector", St. Petersburg, Russia;
Vladimir Nikitenko, Dr. Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Physics Russian University of Transport, Moscow, Russia;
Viktor Nikitin, Dr.Sc., Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Fei Ni, PhD, Assistant Researcher, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center, Tongji University, Shanghai, China;
Aleksandr Panychev, PhD, Associate professor, rector Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Viktor Podsorin, Doctor of Economics Science, Professor Russian Transport University, Moscow, Russia;
Sirirangsi Poovadol, Dr.Sc., MBA, Deputy Dean Faculty of Logistics and Transportation Management Panyapiwat Institute of Management, Pakkred, Thailand;
Yana Sokolova, PhD, MBA, Deputy Head Scientific-Educational Center for Innovative Passenger Transport Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Vladimir Solomin, Dr. Sc., Professor, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;
Richard Magdalena Stephan, Dr.Sc., Full Professor, Department of Electrical Engineering, Head of Electric Machines Laboratory, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil;
Natalya Tereshina, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Transport Management Russian University of Transport, Moscow, Russia;
Tamila Titova, Dr.Sc., Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Research at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;
Han Hyung-Suk, PhD, Head of the Department of Maglev and Linear Drives, Principle Researcher, Korea Institute of Machinery & Material (KIMM), Daejeon, the Republic of Korea.

СОДЕРЖАНИЕ		TABLE OF CONTENTS
ОБЗОРЫ		**REVIEWS**
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов **Агунов А.В., Терёхин И.А., Баранов И.А.** Анализ применения электропроводящих бетонов в электроэнергетике	5	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and Construction of Roads, Subways **Agunov A.V., Terekhin I.A., Baranov I.A.** Analysis of the use of electrically conductive concretes in the power industry
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Железнодорожный транспорт **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	16	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Railway Transport **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 railways
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов **Гуга Н.А., Аверченко Г.А., Васильев К.А., Борисов В.А., Исмаилов А.М.** Планирование затрат и пути совершенствования службы эксплуатации мостов	30	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and Construction of Roads, Subways **Guga N.A., Averchenko G.A., Vasiliev K.A., Borisov V.A., Ismailov A.M.** Cost planning and ways to improve bridge maintenance
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов **Трифонова А.А., Алексеев С.В., Егошин А.М.** Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов	42	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and Construction of Roads, Subways **TRIFONOVA A.A., ALEKSEEV S.V., YEGOSHIN A.M.** Resent constructions of road bridges' expansion joints
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА **Манова В.А., Лебедева А.С., Новинюк О.Н., Сыропятов В.В.** Методика оценки готовности территорий к формированию инфраструктуры инновационного портового транспортно-логистического комплекса	55	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS **Manova V.A., Lebedeva A.S., Noviniuk O.N., Syropyatov V.V.** Methodology for assessing the readiness of territories for the formation of the infrastructure of the innovative port logistics complex

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ		ORIGINAL STUDIES
Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ Направление – Транспортные и транспортно-логистические системы **Гогричиани Г.А., Ляшенко А.Н.** Выбора лучших решений при мультимодальных перевозках нефти	76	Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS Field – Transport and Transport & Logistics Systems **Gogrichiani G.V., Lyashenko A.N.** Choosing the best solutions for multimodal oil transportation
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника **Соломин В.А., Соломин А.В., Чехова А.А.** Пусковые усилия тягового линейного асинхронного двигателя с регулируемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента	87	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering **Solomin V.A., Solomin A.V., Chekhova A.A.** Starting forces of the traction linear induction motor with adjustable resistance of the short-circuited winding of the secondary element
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника **Мирошниченко Е.Е.** Тяговый вентильно-индукторный двигатель с улучшенными показателями надежности подшипниковых узлов для электрического подвижного состава	97	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering **Miroshnichenko E.E.** Switched reluctance traction motor with improved indicators of the reliability of bearing units for an electric rolling stock
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника **Казымов И.М., Компанеец Б.С., Дробязко О.Н.** Разработка системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети	106	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering **Kazymov I.M., Kompaneets B.S., Drobyazko O.N.** Development of a system for control of electric energy parameters in the distribution network
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника **Антонов Ю.Ф.** Расчет, проектирование и производство гетерополярных магнитных систем левитации и линейной тяги магнитолевитационного транспорта	118	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering **AntonovYu.F.** Calculation, design and manufacture of heteropolar magnetic levitation and linear drive systems of maglev transport
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА **Ющенко В.В., Храпов В.Е.** Концепция «Консидентальных перевозок грузов» как механизм повышения эффективности железнодорожного транспорта	130	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS **Yushchenko V.V., Khrapov V.E.** The concept of "Coincidental cargo transportation" as a mechanism to improve the efficiency of railway transport

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 691.32
DOI 10.17816/transsyst2021725-15

© А. В. Агунов, И. А. Терёхин, И. А. Баранов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ БЕТОНОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящее время на территории Российской федерации массовое применение электропроводящих железобетонных конструкций в электроэнергетике отсутствует ввиду недостаточного опыта эксплуатации и низкому темпу исследований электропроводящих бетонов.

В статье сравниваются основные характеристики уже существующих электропроводящих бетонов. В работе показаны недостатки традиционного бетона и существующих электропроводящих бетонов. Выбран электропроводящий бетон, наиболее подходящий для проведения дальнейших исследований, испытаний и непосредственной модернизации состава на основании полученных результатов.

Основными недостатками существующих электропроводящих бетонов являются высокая стоимость и специфичность электропроводящих компонентов и других добавок, как следствие величина капиталовложений на массовое и крупносерийное производство, а также отсутствие опыта эксплуатации в качестве опор контактной сети.

Ключевые слова: заземление; система заземления опор контактной сети; тяговое электроснабжение; опора контактной сети; естественный заземлитель; железобетонный фундамент.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Design and construction of roads, subways

© A. V. Agunov, I. A. Terekhin, I. A. Baranov
Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I
(St. Petersburg, Russia)

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF ELECTRIC CONDUCTING CONCRETE IN THE POWER INDUSTRY

At present, on the territory of the Russian Federation, there is no massive use of electrically conductive reinforced concrete structures in the electric power industry due to insufficient operating experience and a low rate of research on electrically conductive concretes.

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

The article compares the main characteristics of existing electrically conductive concrete. The paper shows the disadvantages of traditional concrete and existing electrically conductive concrete. The electrically conductive concrete was selected, the most suitable for further research, testing and direct modernization of the composition based on the results obtained.

The main disadvantages of existing electrically conductive concretes are the high cost and specificity of electrically conductive components and other additives, as a consequence of the amount of capital investment in mass and large-scale production, as well as the lack of operating experience as overhead supports.

Key words: grounding; the grounding system of the contact network supports; traction power supply; contact network support; natural ground electrode; reinforced concrete foundation.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в электроэнергетической отрасли России особое внимание уделяется созданию и внедрению малообслуживаемых устройств, целью которых является снижение трудозатрат в процессе эксплуатации при сохранении показателей надежности. Высокий потенциал внедрения малообслуживающих устройств представляется в системе заземления, а именно применения железобетонных конструкций, выступающих в качестве естественных заземлителей. Исследованием электропроводящих свойств железобетонных конструкций в нашей стране занимается небольшой ряд ученых, которые в своих трудах [1–3] выявили основную проблему – нелинейность сопротивления при изменении температурно-влажностных условий.

Бетон в сухом состоянии является диэлектриком, однако, находясь во влажной среде, за счет наполнения пор влагой становится хорошим проводником электрического тока. При прохождении электрического тока через такой заземлитель происходит локальный нагрев и испарение поровой влаги бетона. Данные процессы приводят к изменению сопротивления, что в свою очередь является мешающим фактором для внедрения железобетонных конструкций в качестве естественных заземлителей.

С целью повсеместного использования железобетонных конструкций в качестве естественных заземлителей необходимо добиться постоянства электрического сопротивления, удовлетворяющего требованиям [4]. В настоящее время при проектировании электропроводящих бетонов используют два метода:

– включение в состав бетона токопроводящих добавок, изменяющих характеристики материала;

– применение специального композиционного бетона с функциями электропроводимости.

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Результатом последнего метода стало создание в СССР электропроводящего бетона – бетэла, который может применяться в качестве конструкционного и электротехнического материала.

Регулирование структуры и фазового состава цементного камня и самого бетона, наряду с применением токопроводящих добавок, считается одним из главных направлений получения бетона с заданными электрическими характеристиками. Это достигается путем правильного выбора исходного заполнителя, вяжущего и добавок, а также созданием оптимальных условий твердения.

Нормативные документы, определяющие требования физических характеристик к электропроводящим бетонам [5–18].

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И СВОЙСТВ

Электропроводящий бетон может широко применяться для решения широкого спектра задач в гражданском и сельскохозяйственном строительстве. Например, из него могут изготавливаться панели перекрытий и стен, кровля с внутренним водостоком, полы, фундаменты и опорывоздушных линий электропередачи и другие ЖБК. Принципиальная схема электропроводящего бетона представлена на Рис.

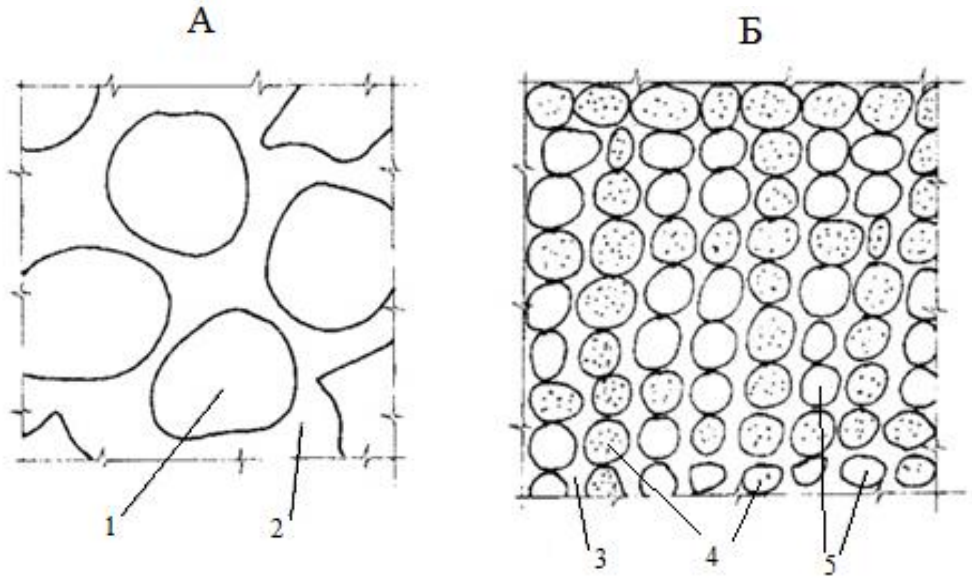


Рис. Принципиальная схема электропроводящего бетона:
1 – песок (диэлектрик-наполнитель);
2 – электропроводный металлосиликат;
3 – гелевая оболочка;
4 – агрегаты металлического порошка;
5 – агрегаты цемента

Received: 11.04.2021 Revised: 16.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 11.04.2021 Одобрена: 16.05.2021 Принята: 30.06.2021

Сделав смесь в виде обычного бетона, где вместо песка использована сажа, получается материал с удельным сопротивлением ~ 0,01–10 Ом*м. Это означает, что например резистор номиналом 100 Ом можно изготовить из бетонного параллелепипеда размером 10 см х 10 см х 1 м [4]. Здесь, правда, возникает проблема с вводом тока в такое сопротивление. Решение нашли достаточно простое – аквадаг (тонкий электропроводящий слой графита). Но к аквадагу, в свою очередь трудно присоединять контакты. Поэтому используют либо прижимные контакты каквадагу, либо внедренные в тело композита разнообразные проволочные элементы. Нестабильное сопротивление, водопоглощение с последующим изменением многих параметров, (цементный камень продолжает расти в течение многих лет), малый коэффициент теплопроводности (~ 0.6 Вт/(м*К)), не дает возможности создания мощных резисторов для энергетики. Точнее резисторы такие можно создать, но они могут работать только ограниченное время. Если нет теплопроводности (т.е. теплоотвода), то резистор за конечное время может нагреться до температур, при которых он начнет разрушаться. Известны случаи, когда бетэловые резисторы взрывались в процессе включения в эксплуатацию под большую нагрузку. Предполагается, что это происходило при попадании влаги внутрь резистора, что приводило к бурному вскипанию воды внутри материала при нагреве выше точки кипения после включения резистора под нагрузку. Опыт показывает, что бетэловый резистор можно включать только на несколько секунд.

При изготовлении бетона может использоваться различная связка, по которой и названы типы материала:

- пластобетон;
- составы на цементном вяжущем бетоне;
- полимерцементный бетон.

С точки зрения конструктивной, электрической и экономической эффективности наиболее подходящим считаются составы на цементном вяжущем бетоне, поскольку они, кроме высоких технико-экономических и конструктивных показателей, обладают достаточно хорошей дугостойкостью и короностойкостью.

Исследования электрических и прочностных свойств электропроводящего бетона показывают, что при его изготовлении можно обеспечить большой диапазон механических и электрических параметров:

- объемный вес: от 1,8 до 2,2 г/см^2;
- прочность на растяжение: от 15 до 30 кг/см^2;
- прочность на сжатие: от 85 до 250 кг/см^2;
- удельное электрическое сопротивление: от 10 до 104 Ом/см;
- допустимая плотность тока: от 10 до 0,1 А/см^2;
- рабочий диапазон температуры: от 60 до 150 °С;

Received: 11.04.2021 Revised: 16.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 11.04.2021 Одобрена: 16.05.2021 Принята: 30.06.2021

- допустимая скорость перегрева: 200 °С/с;
- рабочая температура перегрева: 120 °С;
- удельная разрушающая энергия в случае однократного включения токовой нагрузки: от 230 до 300 Втс/см^3;
- удельная теплоемкость: 0,22 ккал/г°С;
- удельный объем, при котором происходит рассеивание 1 МВтс энергии при перегреве материала на 1°С: 0,57.

Анализируемые электропроводящие бетоны приведены в Табл.

Таблица. Анализируемые электропроводящие бетоны

№	Название	Страна	Патент
1	Резистивный композиционный материал	РФ	№ 2231845, МПК H01C7/00, 2004 г.
2	Manufacturing method of portland cement with optical and electrical conducting properties	США	US6461424 B1, 2002 г.
3	Способ получения электропроводящего бетона	РФ	№ 2291130, МПК C04B28/04; C04B111/94, 2007 г.
4	Электропроводящий бетон	РФ	RU2665324C1, 2017 г.

Известен резистивный композиционный материал, состоящий из компонентов (патент РФ № 2231845, МПК H01C7/00, 2004 г.), мас.%:

- быстротвердеющий цемент 34–56;
- крупнодисперсная фракция шамота с размером частиц 0,15–2,5 мм – 1–35;
- кварцевый песок, фракция 0,2–2,5 мм – 1–34;
- коллоидный графит 3–15;
- мелкодисперсная фракция шамота с размером частиц 0,05–0,09 мм – 0,1–15;
- электрокорунд, фракция 0,1–0,5 мм – 0,1–20;
- минеральное волокно длиной 3–10 мм – 0–5.

К недостаткам данного материала относятся сложная рецептура и высокая цена большинства компонентов.

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Известны составы электропроводящего бетона, которые включают 1–20 % портландцемента, 18–85 % золы и воду (патент US6461424 B1, 2002 г.).

Недостатком такого материала является низкий предел прочности на сжатие – 8,3 МПа.

Ещё одним, является электропроводящий бетон, содержащий цемент, песок, воду и порошкообразный графит, при следующем соотношении (патент РФ № 2291130, МПК C04B28/04; C04B111/94, 2007 г.), мас.%:

- порошкообразный графит 15–35;
- цемент 20–30;
- песок 25–45;
- вода.

Недостатками такого электропроводящего бетона являются низкие прочностные характеристики, сложность регулирования структурообразования и гомогенизации многокомпонентных систем, наличие ограниченной формы конечной продукции, что сужает спектр применения изделий и систем на их основе.

Но наиболее привлекательной для дальнейших исследований является электропроводящий бетон, разработанный в России Р.С. Федюком в 2017 г. [1], который включает портландцемент, песок, воду и углеродсодержащий компонент, в нем дополнительно используют золу уноса и гиперпластификатор, при следующем соотношении компонентов, мас.%:

- портландцемент 10–14;
- песок 14–19;
- зола уноса 13–18;
- углеродсодержащий компонент 11,8–15,8;
- гиперпластификатор 0,2;
- вода 42.

При этом в качестве песка применяется термозитовый песок, а в качестве углеродсодержащего компонента – углеродистый шлам алюминиевого производства. Кроме того, все сухие компоненты подвергают механохимической активации в варио-планетарной мельнице до удельной поверхности 550 м/кг. Технический результат – оптимизация регулирования структурообразования и гомогенизация многокомпонентной системы, а также снижение стоимости конечной продукции, энерго- и ресурсоемкости производства.

Такой электропроводящий бетон может применяться в строительстве, электроэнергетике и, в частности, для создания опор и фундаментов для контактной сети, обладающих электропроводностью и

Received: 11.04.2021 Revised: 16.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 11.04.2021 Одобрена: 16.05.2021 Принята: 30.06.2021

удельным сопротивлением, достаточным для того, чтобы использовать ЖБК в качестве естественных заземлителей.

Вышеуказанный бетон решает задачу увеличения сырьевой базы для производства электропроводящих бетонов с широким диапазоном потребительских свойств. И позволяет оптимально регулировать структурообразование и гомогенизацию многокомпонентной системы как за счет применения в составе бетонной смеси углеродных веществ, так и за счет совместного помола компонентов, а также снижении стоимости конечной продукции за счет использования в составе бетона техногенных отходов, что позволяет снизить стоимость производства.

При этом отличительные признаки формулы изобретения решают следующие функциональные задачи:

1. Признак, указывающий, что «дополнительно используют золу уноса» позволяет достичь снижения расхода портландцемента путем замены его активированным наполнителем техногенного происхождения.

2. Признак, указывающий, что «дополнительно используют гиперпластификатор», позволяет улучшить реологические характеристики бетонной смеси.

3. Признак, указывающий, что «в качестве песка применяется термозитовый песок, а в качестве углеродсодержащего компонента – углеродистый шлам алюминиевого производства…», позволяет снизить себестоимость производства бетона за счет применения дешевых отходов производства.

4. Признак, указывающий, что «все сухие компоненты подвергают механической активации», позволяет усилить реакционную способность активированного вещества без изменений его состава или строения.

5. Признаки, указывающие на соотношение масс, направлены на оптимизацию состава, направленную на достижение технического результата.

ВЫВОДЫ

Все электропроводящие бетоны имеют свои недостатки. Предлагаемый состав [1] электропроводящего бетона имеет следующие преимущества по сравнению с известными:

- повышены прочностные характеристики более чем в 2 раза при одновременном увеличении электропроводности до 2 раз по сравнению с прототипом;
- экономический эффект достигается за счет снижения расхода портландцемента путем замены его активированным наполнителем техногенного происхождения и применения в рецептуре термозитового песка и углеродистого шлама алюминиевого производства.

Received: 11.04.2021 Revised: 16.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 11.04.2021 Одобрена: 16.05.2021 Принята: 30.06.2021

Особенности резистивных материалов обуславливают использование их модификаций для создания нагревательных элементов и конструкций объемного и пленочного типов, применяющихся в электрических системах для теплофикации в сфере общественного и промышленного строительства, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве, а главное энергетике и т.д. Применение углеродсодержащих компонентов позволит обеспечить стабильность электрических свойств, что является одним из важнейших параметров для заземляющих опор без подключения к тяговому рельсу.

Опоры и фундаменты для контактной сети из данного бетона ещё не изучены и для их применения требуется проведение ряда исследований и опытов, как на пригодность прочностных показателей, ввиду механических воздействий со стороны окружающей среды и непосредственно контактной подвески, так и на соответствие электрических показателей для заземления данными опорами, такими как проверка токами коротких замыканий, расчёты в случае попадания молнии в линию и рядом, и прочие сопутствующие испытания для системы заземления.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов.
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Библиографический список / References

1. Федюк Р.С., Кузьмин Д.Е., Батаршин В.О., и др. Электропроводящие бетоны для специальных сооружений // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2017. – № 1. – С. 51–57. [Fedyuk RS, Kuzmin DE, Batarshin VO, et al. Electroconductive concrete for special structures. *Safety of the building fund of Russia. Problems and solutions*. 2017;(1):51-57. (In Russ.)]. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.769.3
2. Терехин И.А., Кремлев И.А., Кондратьев Ю.В. и др. Модельное представление сухого бетона железобетонного фундамента контактной сети, как электрического проводника // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 88–92. [Terekhin IA, Kremlev IA, Kondrat'ev YuV, et al. Model Representationof dry concrete reinforced concrete foundation catenary as an electrical conductor *Scientific problems of transport in Siberia and the Far East*. 2015;(3):88-92. (In Russ.)]. doi: 10.3103/s1068371220100090
3. Титова Т.С., Сацук Т.П., Терехин И.А., Тарабин И.В. Оценка условий электробезопасности при применении опор контактной сети в качестве естественных заземлителей // Электротехника. – 2021. – № 2. – С. 7–11. [Titova TS, Satsuk TP, Terekhin IA, Tarabin IV. Assessment of electrical safety conditions when using overhead contact network supports as natural grounding conductors. *Electrical*

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Engineering. 2021;(2):7-11. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44749802. Ссылка активна на 13.04.2021.

4. Правила устройства электроустановок 7е издание. Общие правила. Заземление и защитные меры безопасности. Утверждены Приказом № 204 Министерства энергетики Российской Федерации от 08.07.2002. [Pravila ustrojstva jelektroustanovok 7e izdanie. Obshhie pravila. Zazemlenie i zashhitnye mery bezopasnosti. Utverzhdeny Prikazom № 204 Ministerstva jenergetiki Rossijskoj Federacii ot 08.07.2002. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200030218. Ссылка активна на 13.04.2021.
5. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования. Утверждён Постановлением № 80 Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 23.07.2001 г. [Bezopasnost' truda v stroitel'stve. Chast' 1. Obshhie trebovanija. Utverzhdjon Postanovleniem № 80 Gosudarstvennogo komiteta Rossijskoj Federacii po stroitel'stvu i zhilishhno-kommunal'nomu kompleksu ot 23.07.2001 g. (In Russ.)]. Доступно по https://docs.cntd.ru/document/901794520. Ссылка активна на 13.04.2021.
6. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Утверждён Приказом № 763/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28.11.2018 г. [Stroitel'naja klimatologija. Utverzhdjon Prikazom № 763/pr Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 28.11.2018 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/554402860. Ссылка активна на 13.04.2021.
7. ГОСТ 13578-2019. Панели из легких бетонов на пористых заполнителях для наружных стен производственных зданий. Технические требования. Утверждён Приказом № 170-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.04.2019 г. [Paneli iz legkih betonov na poristyh zapolniteljah dlja naruzhnyh sten proizvodstvennyh zdanij. Tehnicheskie trebovanija. Utverzhdjon Prikazom № 170-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 26.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: http://docs.cntd.ru/document/437231595. Ссылка активна на 13.04.2021.
8. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. Утверждён Постановлением № 169 Государственного комитета СССР по делам строительства от 14.10.1976 г. [Cementy. Metody opredelenija tonkosti pomola. Utverzhdjon Postanovleniem № 169 Gosudarstvennogo komiteta SSSR po delam stroitel'stva ot 14.10.1976 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/871001225. Ссылка активна на 13.04.2021.
9. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Утверждён Приказом № 2071-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 г. [Betony. Metody opredelenija prochnosti po kontrol'nym obrazcam. Utverzhdjon Prikazom № 2071-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 27.12.2012 g. (In Russ.)]. Ссылка активна на 13.04.2021. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200100908.
10. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. Утверждён Приказом № 97-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.05.2012 г. [Voda dlja betonov i rastvorov. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Prikazom № 97-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 31.05.2012 g. (In Russ.)]. Доступно по: http://docs.cntd.ru/document/1200093835. Ссылка активна на 13.04.2021.

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

11. ГОСТ 19906-74. Нитрит натрия технический. Технические условия. Утверждён Постановлением № 1581 Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28.06.1974 г. [Nitrit natrija tehnicheskij. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 1581 Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR ot 28.06.1974 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200019079. Ссылка активна на 13.04.2021.
12. ГОСТ 828-77. Натрий азотнокислый технический. Технические условия. Утверждён Постановлением № 2842 Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 09.12.1977 г. [Natrij azotnokislyj tehnicheskij. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 2842 Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR ot 09.12.1977 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200019005. Ссылка активна на 13.04.2021.
13. ГОСТ 10178-76. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Утверждён Постановлением № 116 Государственного комитета СССР по делам строительства от 10.07.1985 г. [Portlandcement i shlakoportlandcement. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 116 Gosudarstvennogo komiteta SSSR po delam stroitel'stva ot 10.07.1985 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/871001094. Ссылка активна на 13.04.2021.
14. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций. Утверждён Приказом № 172-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.04.2019 г. [Betony. Metody opredelenija prochnosti po obrazcam, otobrannym iz konstrukcij. Utverzhdjon Prikazom № 172-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 26.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200164023. Ссылка активна на 13.04.2021.
15. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Утверждён Приказом № 2072-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 г. [Izdelija betonnye i zhelezobetonnye dlja stroitel'stva. Obshhie tehnicheskie trebovanija. Pravila priemki, markirovki, transportirovanija i hranenija. Utverzhdjon Prikazom № 2072-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 27.12.2012 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200101281. Ссылка активна на 13.04.2021.
16. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. Утверждён Приказом № 746/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26.11.2018 г. [Konstrukcii betonnye i zhelezobetonnye monolitnye. Pravila proizvodstva i priemki rabot. Utverzhdjon Prikazom № 746/pr Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 26.11.2018 g. буквами (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/554818837. Ссылка активна на 13.04.2021.
17. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. Утверждён Приказом № 71-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.05.2011 г. [Smesi betonnye. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Prikazom № 71-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 13.05.2011 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200085075. Ссылка активна на 13.04.2021.

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

18. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Утверждён Приказом № 130-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.04.2019 г. [Betony. Pravila kontrolja i ocenki prochnosti. Utverzhdjon Prikazom № 130-st Federal'nogo agentstva po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii ot 12.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200164028. Ссылка активна на 13.04.2021.

Сведения об авторах:
Агунов Александр Викторович, д.т.н. профессор;
eLibrarySPIN: 5231-2930;
E-mail: alexagunov@mail.ru
Терёхин Илья Александрович, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 6947-0053; ORCID: 0000-0002-9873-4795;
E-mail: terekhin_ilya@mail.ru
Баранов Иван Александрович, студент;
eLibrary SPIN: 1808-9260; ORCID: 0000-0001-5540-0608;
E-mail: baranov@pgups.ru

Information about authors:
Agunov Alexander V., Doctor of Technical Sciences, professor;
eLibrarySPIN: 5231-2930; AuthorID 249776;
E-mail: alexagunov@mail.ru
Terekhin Ilya A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 6947-0053; ORCID: 0000-0002-9873-4795;
E-mail: terekhin_ilya@mail.ru
Baranov Ivan A., student;
eLibrary SPIN: 1808-9260; ORCID: 0000-0001-5540-0608;
E-mail: baranov@pgups.ru

Цитировать:
Агунов А.В., Терёхин И.А., Баранов И.А. Анализ применения электропроводящих бетонов в электроэнергетике // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 5–15. doi: 10.17816/transsyst2021725-15

To cite this article:
Agunov AV, Terekhin IA, Baranov IA. Analysis of the use of electrically conductive concretes in the power industry. *Transportation Systems and Technology*.2021;7(2):5-15. doi: 10.17816/transsyst2021725-15

Received: 11.04.2021 **Revised: 16.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 11.04.2021 **Одобрена: 16.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Железнодорожный транспорт

УДК [UDC] УДК 656.2 + 06
DOI 10.17816/transsyst20217216-29

© В. А. Воронин[1], П. В. Куренков[2], И. А.Солоп[3], Е. А.Чеботарева[3]
[1] ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»
[2] Российский университет транспорта
(Москва, Россия)
[3] Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНЫХ И ПРОВОЗНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Перед железнодорожной отраслью в современный период стоят задачи, как интенсификации использования существующих линий, так и развития новых высокоскоростных транспортных систем. Отсутствие резервов пропускных способностей железнодорожных направлений приводит к оставлению от движения грузовых поездов, которые в свою очередь осложняют управление движением поездов. Существующие способы увеличения пропускной способности подразделяются на организационно-технические и реконструктивные. Исторически развитие систем железнодорожной автоматики способствовало изменению системы организации движения поездов, увеличению пропускных способностей железнодорожных участков. В работе рассмотрены различные технологические и инновационные решения, направленные на увеличение пропускных и провозных способностей железнодорожных линий, в том числе дана оценка эффективности использования подвижных блок-участков и виртуальных сцепок в условиях ограниченных пропускных способностей железнодорожных направлений. Для решения задачи повышения пропускной способности исследуемого грузонапряженного направления Котельниково-Тихорецкая-Разъезд 9 км Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) использована методика расчета пропускной способности, в результате чего предложены варианты её повышения на грузонапряженном участке, обеспечивающие высокую надежность перевозок, своевременную доставку и выгрузку грузов.

Ключевые слова: инфраструктура, инновации, железнодорожный транспорт, системы автоблокировки, технологии, пропускная способность, показатели, эффективность.

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Railway Transport

© V. A. Voronin[1], P. V. Kurenkov[2], I. A. Solop[3], E. A. Chebotareva[3]
[1] JSC "Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication in Railway Transport"
[2] Russian University of Transport
(Moscow, Russia)
[3] Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

MODERN TECHNOLOGICAL AND INNOVATIVE SOLUTIONS AIMED AT INCREASING THE FLOW AND TRANSPORTATION CAPACITIES OF RAILWAY DIRECTIONS

In the modern period, the railway industry faces the challenges of both intensifying the use of existing lines and developing new high-speed transport systems. The lack of capacity reserves for railway lines leads to the abandonment of freight trains, which in turn complicate the management of train traffic. Existing ways to increase throughput are divided into organizational and technical and reconstructive. Historically, the development of railway automation systems has contributed to changing the system of organizing train traffic, increasing the capacity of railway sections. The paper considers various technological and innovative solutions aimed at increasing the capacity and carrying capacity of railway lines, including an assessment of the effectiveness of using mobile block sections and virtual couplings in conditions of limited capacity of railway directions. To solve the problem of increasing the throughput of the investigated cargo-intensive direction of Kotelnikovo-Tikhoretskaya-Razezd 9 km of the North Caucasian Railway (NKR), the method of calculating the throughput was used, as a result of which options for its increase on the cargo-intensive section were proposed, ensuring high reliability of transportation, timely delivery and unloading cargo.

Key words: infrastructure, innovations, rail transport, auto-blocking systems, technologies, throughput, indicators, efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года и Стратегией научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года определены основные задачи, стоящие перед транспортным комплексом, среди них внедрение перспективных средств и технологий железнодорожной автоматики, разработка научно-обоснованных требований к увеличению пропускной способности и скоростных параметров инфраструктуры, а также научное обоснование создания резервов пропускной способности сети железных дорог по различным направлениям [1, 2]. Области исследований пропускной и провозной

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

способностей включают общие вопросы расчета пропускной и провозной способностей железнодорожных станций и участков (Е.В. Архангельский, Ю.В. Дьяков, С.А. Плахотич и др.), вопросы влияния «окон» на пропускную способность (В.Г. Альбрехт, А.И. Богачёв, С.А. Быкадоров, М. Вуйтович, Д.В. Железнов и др.), разработки имитационных моделей транспортных процессов (А.Э. Александров, П.А. Козлов, А.Л. Кузнецов, Н.А. Тушин, И.Н. Шапкин и др.), оценки случайных факторов на изменение условий организации движения (Н.А. Воробьев, А.Г. Котенко, Д.Ю. Левин, А.М. Макарочкин, А.К. Угрюмов и др.) и другие направления. Изменение инфраструктурных и эксплуатационных параметров железнодорожных линий и их влияние на пропускную и провозную способность рассмотрено и в современных зарубежных исследованиях [2–6].

Безусловно эффективное функционирование железнодорожного транспорта играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, способствует созданию условий для обеспечения лидерства России в мировой экономической системе [7].

В настоящее время существует ряд проблем, в том числе и дефицит финансирования железнодорожной отрасли, которые снижают запланированные темпы развития. Отказ от стратегического развития железнодорожного транспорта может привести к негативным социально-экономическим последствиям (Рис. 1).

Рис. 1. Последствия не реализации
Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

Так во всем мире растет интерес к высокоскоростным транспортным системам, например, вакуумным магнито-левитационным системам, концепции создания которых позволят пересмотреть проблемы функционирования существующих наземных видов транспорта [8–10]. Недостаток финансирования как в вопросах развития новых высокоскоростных транспортных систем, так и решение задач интенсификации существующих железнодорожных линий со смешанным пассажирским и грузовым движением становятся не просто «транспортной» проблемой, но и проблемой стратегического развития страны и ее роли на геополитической карте мира.

ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Основным типом инноваций, применяемым сегодня на железнодорожном транспорте России, являются улучшающие инновации. К ним относятся цифровизация, использование современных телекоммуникационных систем в управлении движением, автоматизации процессов управления, внедрение новых систем интервального регулирования движения поездов, например, автоблокировки (АБ) с подвижными блок-участками, системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛСО) с подвижными блок-участками, технологии виртуальных сцепок (ВСЦ) [11–14].

В последнее десятилетие отмечается рост грузопотоков в российские порты, и в результате ключевые транспортные направления функционируют в условиях ограниченных пропускных и провозных способностей. Наряду с развитием инфраструктуры на подходах к портам, также потребовалось изыскание внутренних резервов, внедрение инноваций, позволяющих интенсифицировать использование существующих железнодорожных линий. Исторически развитие систем железнодорожной автоматики определяло новые технологические решения в организации перевозок, способствовало повышению безопасности движения, эффективности использования транспортной инфраструктуры, в том числе за счет сокращения станционных и межпоездных интервалов на станциях и перегонах, ограничивающих пропускную способность участка. Среди других возможных решений – увеличение массы поездов на основе использования инновационных вагонов, современных поездных локомотивов, установки дополнительных тяговых подстанций на электрифицированных участках, повышение скорости грузовых поездов.

Одним из решений по увеличению пропускных и провозных способностей является сокращение межпоездного интервала движения

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

грузовых поездов попутного направления. Внедрение современной технологии интервального регулирования движения поездов с подвижными границами блок-участков (автоматическая локомотивная сигнализация, применяемая как самостоятельное средство сигнализации и связи, с подвижными блок-участками на базе аппаратуры АБТЦ-МШ) позволяет сократить межпоездные интервалы до 4-х минут для пассажирского движения и до 6-ти минут для грузового движения [16–17].

Для решения задачи сокращения межпоездных интервалов ООО «АВП Технология» разработало и серийно производит Интеллектуальные системы автоматического ведения поезда с распределенной тягой (ИСАВП-РТ-М), реализующие вождение грузовых поездов по технологии «Виртуальная сцепка». Сокращение межпоездного интервала происходит за счет обеспечения непрерывного обмена информацией по радиоканалу между локомотивами и оценки режимов движения впереди идущего поезда системой ИСАВП-РТ-М (Рис. 2).

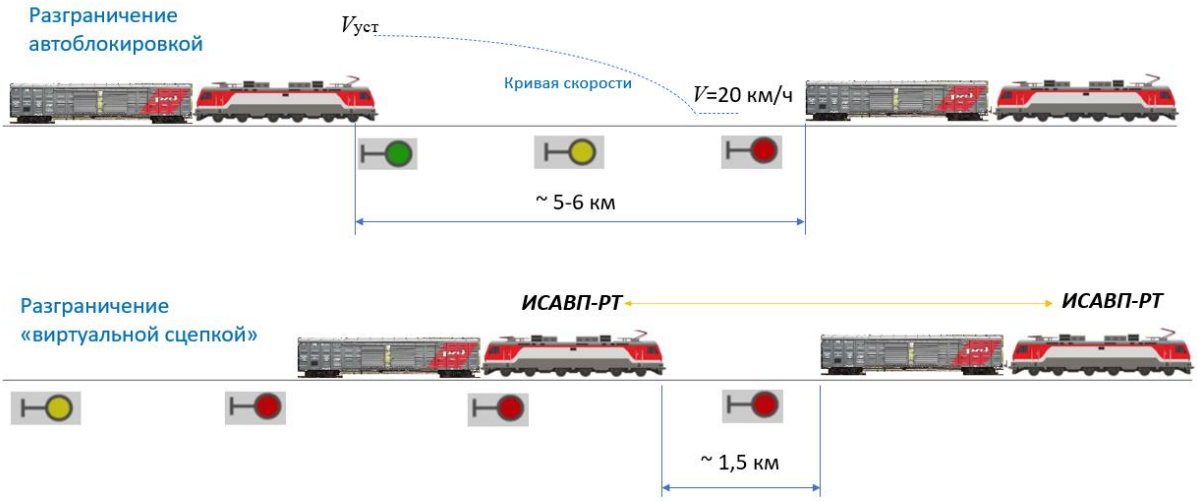


Рис. 2. Сокращение межпоездного интервала при использовании системы ИСАВП-РТ-М

Ведение «виртуально соединенных» грузовых поездов системой ИСАВП-РТ-М производится в безопасном автоматизированном режиме. При существующей технологии пропуска грузовых поездов интервал движения поездов при трехзначной автоблокировке составляет 10–15 минут. Для сокращения интервалов между грузовыми поездами локомотивы оборудуются системой ИСАВП-РТ-М. При организации пропуска грузовых поездов по технологии «Виртуальная сцепка» можно также сократить межпоездной интервал до 5-8 минут. При этом локомотивы непрерывно поддерживают обмен данными по радиоканалу, передавая местоположение составов, параметры движения, текущий и перспективный режим работы (Рис. 3).

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

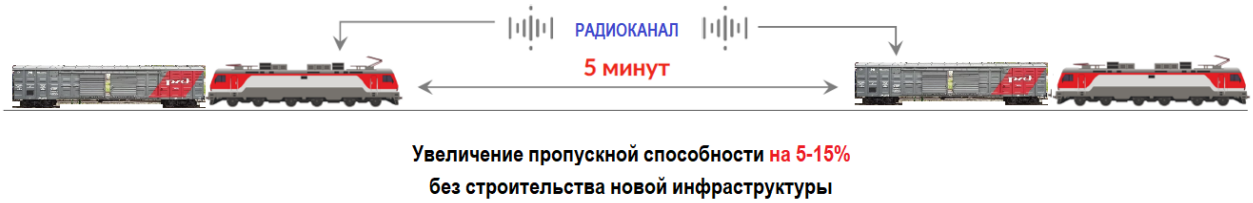


Рис. 3. Перенос функций управления на бортовые устройства для реализации технологии «Виртуальной сцепки»

Система обеспечивает наименьшее безопасное расстояние между грузовыми поездами в попутном следовании, непрерывно производит оценку эффективности систем торможения для обеспечения постоянной готовности произвести безопасную остановку грузового поезда. Также наблюдаются и другие положительные эффекты внедрения технологии ВСЦ (Рис. 4).

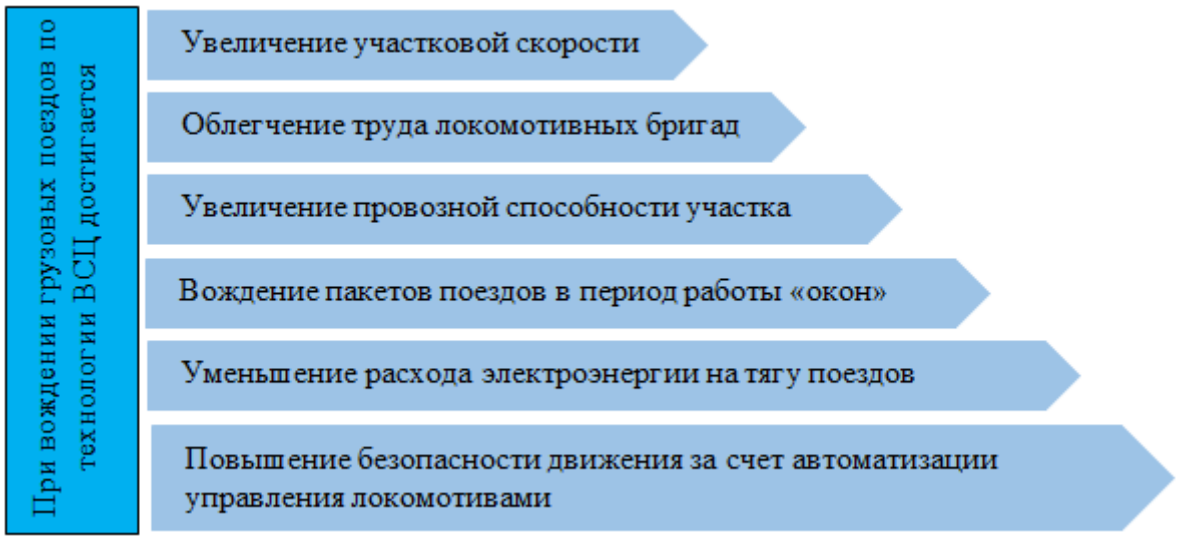


Рис. 4. Положительные эффекты внедрения технологии ВСЦ

Технические и инновационные решения системы ИСАВП-РТ-М позволят в ближайшем будущем водить пакеты от двух до пяти грузовых поездов по технологии «Виртуальная сцепка», что позволит максимально увеличить пропускную способность существующей инфраструктуры, выполнять мониторинг локомотивов и поездов, осуществляющих движение (Рис. 5). Обмен данными с интеллектуальной системой управления движением ОАО «РЖД» даст возможность организовать управление движением поездов в едином информационном пространстве. Данная система широко применяется на Транссибирской магистрали, Южно-Уральской, Западно-Сибирской, Дальневосточной, Восточно-Сибирской, Московской дорогах.

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

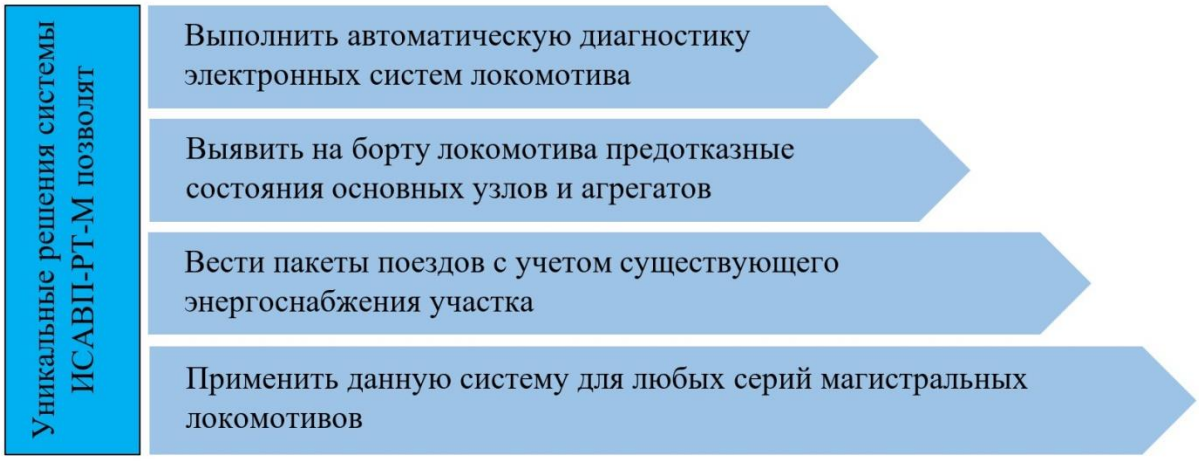


Рис. 5. Некоторые возможности системы ИСАВП-РТ-М

Рассмотрим более подробно технологию применения системы ИСАВП-РТ-М (Рис. 6 а–г). На Рис. 6а представлен стандартный участок с разграничением автоблокировкой, с десятью светофорами. Один состав движется на зеленый свет, за ним красный и желтый свет, затем движется еще один состав на зеленый свет и т.д. На таком участке помещается три поезда с межпоездным интервалом от 8 до 12 мин и имеется некая кривая подъезда к запрещающему сигналу. На Рис. 6б видно, как с помощью технологии ИСАВП-РТ можно оптимизировать этот участок. У нас имеется первый поезд, второй соединенный с первым.

Далее выдерживая межпоездной интервал от 4 до 6 мин. движется следующая пара соединенных поездов. По такой технологии до 18 пар в сутки следует по Транссибирской магистрали. И на этом самом разграниченном блок-участке следуют уже 4 поезда, и ожидается появление следующей пары.

На Рис. 6в представлена опытная эксплуатация, которая проходит на Дальневосточной дороге. На этом участке разграничение автоблокировкой ИСАВП-РТ-М модернизированная, когда к радиомодемам добавляется дополнительное оборудование, позволяющее реализовать движение по этой технологии. Соединенный поезд не соединен, вначале отправляется один поезд, а следом отправляется второй. Имея один сетевой адрес, этой паре присваивается единый номер поезда, а за ним отправляется следующая пара. На этом же самом блок-участке присутствует четыре поезда, но здесь мы выигрываем во времени соединения, не привязанной к длине блок-участка, а ко времени. Следом появляется следующая пара.

Перспектива развития этой технологии состоит в том, что в дальнейшем, после успешных испытаний возможно отправление пакетных поездов, и пакет поездов может состоять не из двух локомотивов, а из трех, четырех, из пяти.

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

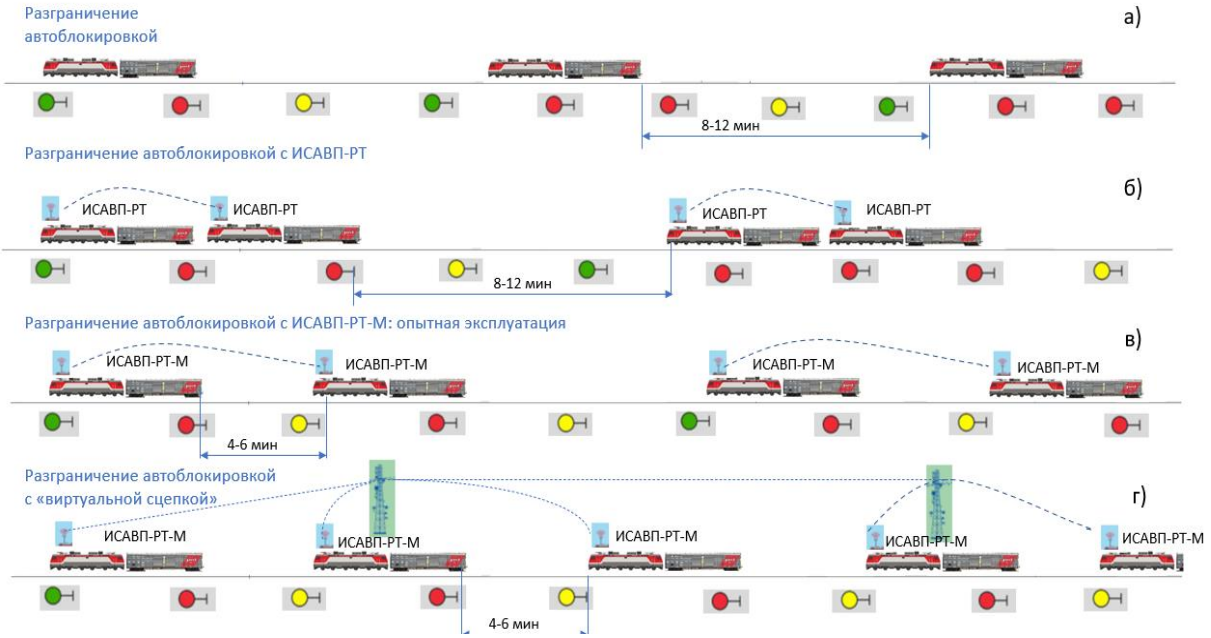


Рис. 6. Технология применения системы ИСАВП-РТ-М

В данном случае мы видим перспективу развития пропускной способности этого же участка с этой же автоблокировкой с пакетом, состоящим из пяти поездов с единым сетевым адресом соединенный виртуально (Рис. 6г).

При вождении поездов по технологии «Виртуальная сцепка» между локомотивами по радиоканалу устанавливается соединение, осуществляется непрерывный обмен данными между локомотивами. Ведомый локомотив, идущий в попутном следовании, обрабатывая информацию с впереди идущего локомотива (ведущий) выбирает наиболее оптимальный режим работы. Модернизированная Унифицированная система автоматизированного ведения поездов (УСАВП) с установленной системой ИСАВП-РТ-М ведомого поезда, основываясь на информации, поступающей от ведущего поезда, производит расчет момента изменения сигнала огня локомотивного светофора с «желтого» на «зеленый» или с «красно-желтого» на «желтый», тем самым соблюдая наименьшее безопасное расстояние между ведущим и ведомым поездами с расчетом эффективности работы системы торможения.

Эксплуатационные испытания новой технологии интервального регулирования движения поездов (ИРДП) по типу «виртуальная сцепка» успешно прошли на Дальневосточной железной дороге в 2019 г. Предполагается, что технология ИРДП будет использоваться, прежде всего, на тех полигонах железных дорог, где имеется интенсивное движение поездов с грузонапряженностью более 50 млн. т×км брутто.

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ РЕЗЕРВОВ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НА ИССЛЕДУЕМОМОМ НАПРАВЛЕНИИ

В данном исследовании рассматриваются варианты усиления пропускной способности грузонапряженного направления Котельниково-Тихорецкая-Разъезд 9 км Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД), обеспечивающего подвод экспортных грузов к припортовым станциям Азово-Черноморского бассейна (АЧБ), узким местом в пропускной способности является участок Гречаная-Разъезд 9 км. В настоящий момент на рассматриваемом участке, который является однопутным с двухпутными вставками, ведутся работы по укладке сплошного второго пути, по завершению которых наличная пропускная способность составит $N_{\text{нал}}$ = 154 пары поездов. Реконструкция участка ведется в связи с ожидаемым ростом грузопотока (V) в адрес портов Юга России в размере равном 130 млн. тонн и необходимостью его освоения. При принятой на данном направлении весовой норме поезда 4500 тонн для освоения указанного грузопотока необходимо обеспечить пропуск грузовых поездов в размере 131 пары поездов. По исследуемому участку помимо грузовых поездов будут пропускаться пассажирские поезда в размере 29 пар дальних и местных поездов, три пары пригородных поездов и одна пара сборных поездов.

Средний коэффициент съема грузовых поездов пассажирскими рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пасс}} = \frac{t_{\text{гр}}(1-\Delta)\cdot(0{,}8-0.005\cdot n_{\text{пасс}})}{I} + 1{,}3 \qquad (1)$$

где $t_{\text{гр}}$ – время хода грузового поезда по ограничивающему перегону ($t_{\text{гр}}$ = 18 мин);

Δ – соотношение чистого времени хода пассажирского (ускоренного) поезда данной категории, имеющего большую скорость, чем грузовой и времени хода грузового поезда на расчетном участке (Δ = 0,77);

$n_{\text{пасс}}$ – общее число пассажирских поездов на участке ($n_{\text{пасс}}$ = 32);

I – расчетный межпоездной интервал на участке (I=8 мин).

Отсюда

$$\varepsilon_{\text{пасс}} = \frac{18 \cdot (1 - 0{,}77) \cdot (0{,}8 - 0{,}005 \cdot 32)}{8} + 1{,}3 = 1{,}63.$$

Коэффициент съема ниток графика сборным поездом определяется количеством обслуживаемых станций. Исследуемый участок имеет 9 раздельных пунктов, из которых 5 станций обслуживается сборным

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

поездом. При остановке сборного поезда на каждой станции коэффициент съема ниток графика будет равен $\varepsilon_{сб}$= 5.

Потребная пропускная способность двухпутного участка, определяется по следующей формуле:

$$N_{потр} = \left[N_{гр} + N_{пасс} \cdot \varepsilon_{пасс} + N_{сб}(\varepsilon_{сб} - 1)\right] \cdot \beta_{рез}, \text{поездов/сут}, \qquad (2)$$

где $N_{сб}$ – число сборных поездов, ($N_{сб} = 1$);

$\beta_{рез}$ – резерв пропускной способности участка для двухпутного участка, ($\beta_{рез}$ =1,1 - 1,15).

$$N_{потр} = [131 + 32 \cdot 1{,}63 + 1 \cdot (5 - 1)] \cdot 1{,}1 = 205{,}92 \approx 205 \text{ пар поездов.}$$

Согласно полученным результатам пропускной способности будет недостаточно для пропуска растущего объема перевозок, и данную проблему необходимо решать либо развитием инфраструктуры рассматриваемого направления, либо сокращением числа поездов за счет увеличения их весовых норм.

Укладка третьего главного пути на перегонах участка Гречаная – Разъезд 9 км позволит обеспечить наибольшее увеличение наличной пропускной способности. Лишь, когда темпы роста объема экспортных перевозок значительны (5–7 %), как в текущей ситуации на юге России, укладка третьих путей на перегонах может быть рациональна. В связи с этим в работе делается оценка увеличения пропускной способности исследуемого участка за счет укладки 3-го пути.

В качестве второго варианта усиления пропускной способности исследуемого участка предлагается также рассмотреть применение инновационных разработок автоматизированных систем управления перевозочным процессом, за счет интервального регулирования движения поездов. Третьим вариантом усиления провозной способности исследуемого направления рассматривается организация движения тяжеловесных поездов, формируемых из инновационных вагонов с осевой нагрузкой 25 т/ось и более.

В результате поставленной цели по оценке мер повышения пропускной способности исследуемого участка в работе [15] были рассмотрены возможные варианты, для которых был проведен расчет наличной и потребной пропускной способности. Для выбора наилучшего мероприятия по повышению пропускной способности исследуемого участка Тимашевск-Разъезд 9 км результаты расчета пропускной способности по всем предлагаемым мероприятиям сведены в Табл.

Received: 03.04.2021 Revised: 31.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 03.04.2021 Одобрена: 31.05.2021 Принята: 30.06.2021

Таблица. Оценка повышения пропускной способности в зависимости от организационного мероприятия

Мероприятия на участке Тимашевская – Разъезд 9 км	**Строительство третьего пути**	**Локомотивная сигнализация с подвижными блок-участками**	**Организация тяжеловесного движения**
Существующая пропускная способность участка	154	154	154
Наличная пропускная способность после реализации мероприятия	187	164	154
Потребная пропускная способность на 2025 г	205	205	144
Коэффициент спользования, *K*	1,1	1,24	0,93

Анализ Табл. показывает, что на грузонапряженном направлении ни одна реконструктивная мера не позволяет увеличить наличную пропускную способность в достаточной мере, чтобы освоить прогнозируемый грузопоток. Технологическая мера повышения пропускной способности путем организации движения тяжеловесных поездов дает необходимый эффект, но при минимальном резерве пропускной способности. Это указывает на то, что нельзя каждый из способов повышения пропускной способности использовать изолированно, и необходима реализация комплекса мер, чтобы обеспечить пропускную способность нужных размеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все современные технологические и инновационные решения, направленные на увеличение пропускных и провозных способностей железнодорожных направлений, требуют глубоких научных разработок и подтверждений. Большой вклад в развитие этих направлений вносит Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года. «Белая книга». 2015 г. [Strategiya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya kholdinga “Rossiyskiye zheleznyye dorogi” na period do 2020 goda i perspektivu do 2025 goda. “Belaya kniga”. 2015 g. (In Russ)]. Дата обращения: 04.02.2021. Режим доступа: https://zszd.rzd.ru/dbmm/download?vp=17&load=y&col_id=121&id=18071.
2. Zitrický V, Černá L, Abramovič B. The Proposal for the Allocation of Capacity for International Railway Transport Procedia Engineering. 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.06.171
3. Kendra M, Babin M, Barta D. Changes of the Infrastructure and Operation Parameters of a Railway Line and Their Impact to the Track Capacity and the Volume of Transported Goods. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2012. pp. 743-752 doi: 10.1016/ j.sbspro.2012.06.1052
4. Ljubaj I. Possibility of Increasing the Railway Capacity of the R106 Regional Line by Using a Simulation Tool. *Transportation Research Procedia*. 2020;44:137-144. doi: 10.1016/j.trpro.2020.02.020
5. Ljubaja I, Mlinarića T. The Possibility of Utilising Maximum Capacity of the Double-Track Railway By Using Innovative Traffic Organisation. *Transportation Research Procedia.* 2019;(40):346-353. doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.051
6. Rosella F, Codina E. A model that assesses proposals for infrastructure improvement and capacity expansion on a mixed railway network. *Transportation Research Procedia.* 2020;(47):441-448. doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.119
7. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года: утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. Режим доступа: https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010 Дата обращения: 04.02.2021. [Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda: utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17.06.2008 g. № 877-r. Available from: https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010 [Internet]. (In Russ.)].
8. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт: ответ на вызовы времени // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 5–13. [Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnyy transport: otvet na vyzovy vremeni. *Transportation Systems and Technology*. 2017;3(1):5-13. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2017315-13
9. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны: монография – СПб: Типография НП-Принт, 2015. – 140 с. [Zaitsev AA. Magnitovlevitatsionny transport in a single transport system of the country: monograph. St. Petersburg: NP-Print; 2015. 140 p. (In Russ.)].
10. Смирнов С.А., Смирнова О.Ю. Роль грузового магнитолевитационного транспорта в мировой экономике // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 106–117. [Smirnov SA, Smirnova OYu. Rol' gruzovogo magnitolevitatsionnogo transporta v mirovoy ekonomike. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(2):106-117. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst201952106-117
11. Розенберг Е.Н. Стратегия повышения эффективности перевозочного процесса // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 2–4. [Rozenberg YeN. Strategiya povysheniya effektivnosti perevozochnogo protsessa. *Automation, communication, informatics.* 2019;6:2-4. (In Russ.)]. doi: 10.34649/AT.2019.6.6.001

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

12. Воронин В.А., Малахин Н.Б. О современных системах интервального регулирования в пределах станции // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 3. – С. 12–14. [Voronin VA, Malakhin NB. O sovremennykh sistemakh interval'nogo regulirovaniya v predelakh stantsii. *Automation, communication, informatics.* 2014;3:12-14. (In Russ.)].
13. Розенберг Е.Н., Батраев В.В. Инновационное развитие систем интервального регулирования // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 7. – С. 5–9. [Rozenberg YeN, Batrayev VV. Innovatsionnoye razvitiye sistem interval'nogo regulirovaniya. *Automation, communication, informatics.* 2018;7:5-9. (In Russ.)].
14. Розенберг Е.Н., Абрамов А.А., Батраев В.В. Интервальное регулирование движения поездов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 9. – С. 19–24. [Rozenberg YeN, Abramov AA, Batrayev VV. Interval'noye regulirovaniye dvizheniya poyezdov. *Railway transport.* 2017;9:19-24. (In Russ.)].
15. Zubkov VN, Ryazanova EV, Chebotareva EA. Capacity and Traffic Management on a Heavy-Traffic Railway Line. *TransSiberia.* Springer International Publishing. 2019;2:934-949. doi: 10.1007/978-3-030-37919-3
16. Куренков П.В., Солоп И.А., Чеботарёва Е.А. Подвижные блок-участки и виртуальные сцепки как инновационные составляющие транспортно-логистической инфраструктуры // Логистика. – 2021. – № 1 (170). – С. 30–34. [Kurenkov PV, Solop IA, Chebotarova YeA. Podvizhnyye blok-uchastki i virtual'nyye stsepki kak innovatsionnyye sostavlyayushchiye transportno-logisticheskoy infrastruktury. *Logistics*. 2021;1:30-34. (In Russ., in Engl.)].
17. Воронин В.А., Филипченко С.А., Куренков П.В., и др. Инновационные элементы инфраструктуры железнодорожного комплекса: оценка технологий и показателей эксплуатационной работы // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 3. – С. 18–22. [Voronin VA, Filipchenko SA, Kurenkov PV, et al. Innovatsionnyye elementy infrastruktury zheleznodorozhnogo kompleksa: otsenka tekhnologiy i pokazateley ekspluatatsionnoy raboty. *Transport. science, technology, management*. 2021;3:18-22. (In Russ.)].

Сведения об авторах:
Воронин Владимир Альбертович, к.т.н.;
eLibrary SPIN: 4775-9546; ORCID: 0000-0002-7748-5953;
E-mail: V.Voronin@vniias.ru

Куренков Петр Владимирович, д.э.н.;
eLibrary SPIN: 3244-2983; ORCID: 0000-0003-0994-8546;
E-mail: petrkurenkov@mail.ru

Солоп Ирина Андреевна, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 4770-2991; ORCID: 0000-0001-9900-5490;
E-mail: Bhbirf1122@yandex.ru

Чеботарева Евгения Андреевна, к.т.н., доцент;
eLibrary SPIN: 7008-5142; ORCID: 0000-0001-7662-0837;
E-mail: Abrosimova@ya.ru

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Information about authors:
Vladimir A. Voronin, Candidate of Engineering Science;
eLibrary SPIN: 4775-9546; ORCID: 0000-0002-7748-5953;
E-mail: V.Voronin@vniias.ru

Peter V. Kurenkov, Doctor of Economics, Professor;
eLibrary SPIN: 3244-2983; ORCID: 0000-0003-0994-8546;
E-mail: petrkurenkov@mail.ru

Irina A. Solop, Candidate of Engineering Science, docent;
eLibrary SPIN: 4770-2991; ORCID: 0000-0001-9900-5490;
E-mail: Bhbirf1122@yandex.ru

Evgeniia A. Chebotareva, Candidate of Engineering Science, docent;
eLibrary SPIN: 7008-5142; ORCID: 0000-0001-7662-0837;
E-mail: Abrosimova@ya.ru

Цитировать:
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/transsyst20217216-29

To cite this article:
Voronin VA, Kurenkov PV, Solop IA, Chebotareva EA. Modern technological and innovative solutions aimed at increasing the throughput and carrying capacity of railways. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):16-29. doi: 10.17816/transsyst20217216-29

Received: 03.04.2021 **Revised: 31.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 03.04.2021 **Одобрена: 31.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК 351.811.113
DOI 10.17816/transsyst20217230-41

© Н. А. Гуга[1,2], Г. А. Аверченко[1], К. А. Васильев[1], В. А. Борисов[1], А. М. Исмаилов[1]
[1]Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
[2] АО «Трансмост»
(Санкт-Петербург, Россия)

ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАТРАТ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВ

Ремонт и реконструкция является неотъемлемой частью жизненного цикла таких сооружений, как: мосты, путепроводы, акведуки. Своевременное обслуживание и ремонт мостовых сооружений способствует непрерывному повышению их технического уровня, а также эксплуатационному состоянию с возрастающей в течении времени нагрузкой и интенсивностью на постоянно строящихся автомобильных дорогах.

В данной статье приведены результаты исследования необходимости ремонта сооружений с течением времени. В статье помещено описание видов работ, а также сроки, когда данные работы необходимо производить, приведены графики объемов и стоимости работ. В качестве материалов и исходных данных были взяты данные ориентировочных межремонтных периодов элементов мостовых конструкций, а также составлена таблица периодичности ремонтов по годам.

На основании собранных данных, были построены графики стоимости и изменения объемов работ с течением времени. По мимо этого, приведены графики стоимости ремонта отдельных элементов сооружения по отношению к полной стоимости сооружения.

На основании полученных результатов формулируются рекомендации по планированию ремонта экспатриирующихся мостовых сооружений мостоэсплуатационными управлениями. А также предлагается комплекс мероприятий по устранению существующих нарушений и дальнейшей эксплуатации мостового сооружения. Рекомендован комплекс работ по ремонту отдельных узлов и конструкций. Приведены доводы необходимости разделения обязанностей между мостоэксплутационными управлениями в ходе ремонта сооружения.

Ключевые слова: Мост, эксплуатация, ремонт, содержание, строительство, пролетное строение, насыпь, затраты, периодичность ремонта.

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Design and Construction of Roads, Subways

© N. A. Guga[1,2], G. A. Averchenko[1], K. A. Vasiliev[1], V. A. Borisov[1], A. M. Ismailov[1]
[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
[2] JSC "Transmost"
(St. Petersburg, Russia)

COSTS PLANNING AND WAYS TO IMPROVE BRIDGE OPERATION SERVICE

Repair and reconstruction is an integral part of the life cycle of such structures as: bridges, overpasses, aqueducts. Timely maintenance and repair of bridge structures contributes to the continuous improvement of their technical level, as well as to the operational state with increasing load and intensity over time on constantly under construction highways.

This article presents the results of a study of the need to repair structures over time. The article contains a description of the types of work, as well as the terms when these works need to be performed, graphs of the volume and cost of work are given. As materials and initial data, the data of approximate turnaround periods of elements of bridge structures were taken, as well as a table of the frequency of repairs by year was compiled.

Based on the collected data, graphs of the cost and changes in the volume of work were built over time. In addition, graphs of the cost of repairing individual elements of the structure are given in relation to the total cost of the structure.

Based on the results obtained, recommendations are formulated for planning the repair of expatriated bridge structures by bridge maintenance departments. A set of measures is also proposed to eliminate existing violations and further operation of the bridge structure. A set of works for the repair of individual units and structures is recommended. Arguments are given for the need to share responsibilities between bridge operation departments during the repair of the structure.

Key words: Bridge, operation, repair, maintenance, construction, superstructure, embankment, costs, frequency of repair.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание мостовых сооружений является неотъемлемой частью жизненного цикла сооружения. В ходе проведения работ по содержанию мостовых сооружений решаются такие задачи как: обеспечение сооружения и его элементов в исправном состоянии, согласно срокам службы при минимальных затратах, поддержание внешнего облика сооружения в надлежащем виде, а также обеспечение безопасного и комфортного движения автомобилей. Значительный рост интенсивности движения по искусственным сооружениям, все возрастающие скорости и грузоподъемность транспортных средств, повышение агрессивности окружающей среды привели к массивному ухудшению состояния мостов.

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

По данным обследований мостов в Российской Федерации и Республики Беларусь около 80 % мостов требуют того или иного вида ремонта. Для осуществления программы приведения мостов в относительно благополучное состояние необходимы значительные материальные затраты [1–3]. В настоящее время отчисления на эксплуатацию мостов составляют 1–4 % их стоимости и выделяются из бюджетных средств. Затраты на содержание мостов расходуются на надзор, зимнюю и летнюю уборку проезжей части мостов, пропуск льда и паводка (кроме отдельных аварийных случаев), текущий капитальный ремонт мостов [4, 5]. При этом следует учитывать, что регулярные затраты на текущее содержание мостов и ремонтно-профилактические работы снижают значительные ассигнования на капитальный ремонт. Причем «профилактические затраты» должны быть планомерны в течение всего срока службы сооружения с учетом его фактического возраста и состояния.

Основными недостатками существующих в настоящее время методов перспективного планирования являются отсутствие научно-обоснованных критериев морального и физического износа мостов, нормативов на мостовые и ремонтные работы, специализированных организаций и подразделений по эксплуатации мостов, единой методики перспективного планирования ремонтных работ, основанной на нормативных сроках службы сооружений и межремонтных периодов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приведенные ниже результаты освещают вопросы планирования затрат на ремонт мостов для каждого года службы сооружения [6]. На основании данных об ориентировочных межремонтных периодах элементов мостовых конструкций составлена таблица периодичности ремонтов по годам существования искусственных сооружений (Табл.) с определением укрупненных объемов работ по ремонту наиболее распространенных дефектов и повреждений.

Табл. Ориентировочная периодичность ремонта конструктивных элементов моста

Ремонтные работы и виды ремонта	**Ориентировочный объем работ**	**Периодичность, лет**
1	**2**	**3**
Проезжая часть (текущий ремонт)		
Ремонт неровностей, волн, выбоин и трещин в покрытии проезжей части	0,20F	Каждый год
Проезжая часть (капитальный ремонт)		
Ремонт гидроизоляции в зоне деформационных швов, водоотводных трубок, ограждений безопасности.	0,03F	Каждые 3 года
Ремонт деформационных швов закрытого типа с заменой гидроизоляции и покрытия возле них.	0,30B	Каждые 3 года
Окраска металлических перил	0,30B	Каждые 3 года

Received: 09.03.2021 Revised: 17.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.03.2021 Одобрена: 17.03.2021 Принята: 30.06.2021

Ремонтные работы и виды ремонта	Ориентировочный объем работ	Периодичность, лет
1	2	3
Металлические пролетные строения (текущий ремонт) Окраска отдельных элементов	0,2F	Каждые 3 года
Опоры и опорные части (текущий ремонт) Окраска и смазка металлических опорных частей	0,01F	
Сопряжение с моста с насыпью (капитальный ремонт) Регуляционные сооружения	0,3F	Каждые 3 года
Проезжая часть (капитальный ремонт) Замена стальных скользящих листов открытых деформационных швов Восстановление слоя износа проезжей части (поверхностная обработка)	B F	Каждые 5 лет Каждые 5 лет
Металлические пролетные строения (текущий ремонт) Окраска пролетных строений	2F	Каждые 5 лет
Железобетонные пролетные строения (текущий ремонт) Заделка трещин, раковин, сколов	0,1F	Каждые 5 лет
Сопряжение моста с насыпью (капитальный ремонт) Восстановление размытых участков конусов у устоев	0,5F	Каждые 6 лет
Проезжая часть (капитальный ремонт) Замена асфальтобетонного покрытия с заменой гидроизоляции	F	Каждые 7 лет
Сопряжение моста с насыпью (капитальный ремонт) Досыпка просевшей части насыпи с перекладкой переходных плит	B x 7	Каждые 7 лет
Железобетонные пролетные строения (текущий ремонт) Защита бетона от агрессивных воздействий (нанесение защитных покрытий)	2F	Каждые 8 лет
Проезжая часть (капитальный ремонт) Замена металлического барьерного ограждения Замена покрытия тротуаров	L L x 0,2B	Каждые 10 лет Каждые 10 лет
Металлические пролетные строения (текущий ремонт) Замена болтов		Каждые 10 лет
Железобетонные пролетные строения (текущий ремонт Восстановление защитного слоя в конструкциях с каркасной арматурой Ремонт поперечного объединения элементов	0,15F 0,10F	Каждые 10 лет Каждые 10 лет
Сопряжение моста с насыпью (капитальный ремонт) Расчистка русла и восстановление берегов	0,4F	Каждые 10 лет
Проезжая часть (капитальный ремонт) Частичная замена тротуарных блоков	L x 0,1B	Каждые 10 лет
Опоры и опорные части (текущий ремонт) Выравнивание положения катков или балансиров		Каждые 15 лет
Пролетные строения (капитальный ремонт) Замена поврежденных элементов поясов и решетки ферм металлических пролетных строений	0,5F	Каждые 15 лет
Сопряжение моста с насыпью (капитальный ремонт) Замена переходных плит с заменой верхней части дренирующей засыпки	B x 7	Каждые 15 лет
Металлические пролетные строения (текущий ремонт) Замена дефектных заклепок		Каждые 20 лет

Received: 09.03.2021 Revised: 17.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.03.2021 Одобрена: 17.03.2021 Принята: 30.06.2021

Ремонтные работы и виды ремонта	Ориентировочный объем работ	Периодичность, лет
1	2	3
Железобетонные пролетные строения с преднапряженной арматурой (текущий ремонт) Восстановление защитного слоя	0,3F	Каждые 20 лет
Опоры и опорные части (текущий ремонт) Заделка трещин в бетонных и каменных опорах Заделка трещин и сколов в железобетонных конструкциях опор	0,3F 0,1F	Каждые 20 лет Каждые 20 лет
Сопряжение моста с насыпью (капитальный ремонт) Замена водоотводных лотков у концов моста	2B	Каждые 20 лет
Опоры и опорные части (капитальный ремонт) Ремонт подферменников	B	Каждые 25 лет
Пролетные строения (капитальный ремонт) Замена балок железобетонных пролетных строений с каркасной арматурой	2F	Каждые 30 лет
Опоры и опорные части (капитальный ремонт) Замена резиновых опорных частей	0,2F	Каждые 30 лет
Опоры и опорные части (капитальный ремонт) Восстановление облицовки массивных опор Цементация и торкретирование массивных опор Замена дренажа у устоев	0,2F 0,10B B	Каждые 40 лет Каждые 40 лет Каждые 40 лет
Пролетные строения (капитальный ремонт) Замена балок железобетонных пролетных строений с предварительно напряженной арматурой	2F	Каждые 50 лет
Пролетные строения (капитальный ремонт) Полная замена изношенных металлических пролетных строений	2F	Каждые 60 лет

Источник: составлено на основании данных [5]

В основу определения объемов работ положены три основные характеристики моста: L – длина, B – ширина, F – площадь поверхности несущих конструкций. Все остальные объемы ремонтных работ определялись в виде процентного отношения этих трех показателей. Процент назначался, исходя из статистической обработки наличия и объемов тех или иных дефектов около 1500 обследованных мостов. Объемы работ определялись для различных габаритов и длин пролетов. На основе подсчетов получены зависимости объемов основных работ от длин и габаритов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании этих зависимостей построены графики изменения объемов и стоимости ремонтных работ для каждого года службы моста. При этом исходная стоимость сооружения принималась равной 400 руб. площади проезжей части, а стоимость ремонтных работ по калькуляциям эксплуатационных организаций. На Рис. 1 приведены графики стоимости

Received: 09.03.2021 Revised: 17.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.03.2021 Одобрена: 17.03.2021 Принята: 30.06.2021

ремонта деформационных швов, гидроизоляции и покрытия проезжей части автодорожных мостов, отнесенной к полной стоимости сооружения [7]. При этом затраты на содержание и ремонтно-профилактические мероприятия не являются постоянными во времени (Рис. 2). Суммарные эксплуатационные расходы нарастают скачкообразно (Рис. 3) по мере накопления повреждений, выхода из строя и замены отдельных элементов и конструкций моста (замена балок с каркасной арматурой через 30 лет эксплуатации, с преднапряженной – 50 лет, металлических пролетных строений – 60 лет и др.) [8–11]. Из Рис. 3 видно, что к 50–60 годам службы эксплуатационные расходы составляют 60–100 % от стоимости строительства нового моста. Причем чем меньше величина пролетов моста, тем целесообразнее ограничение его срока службы [12–15].

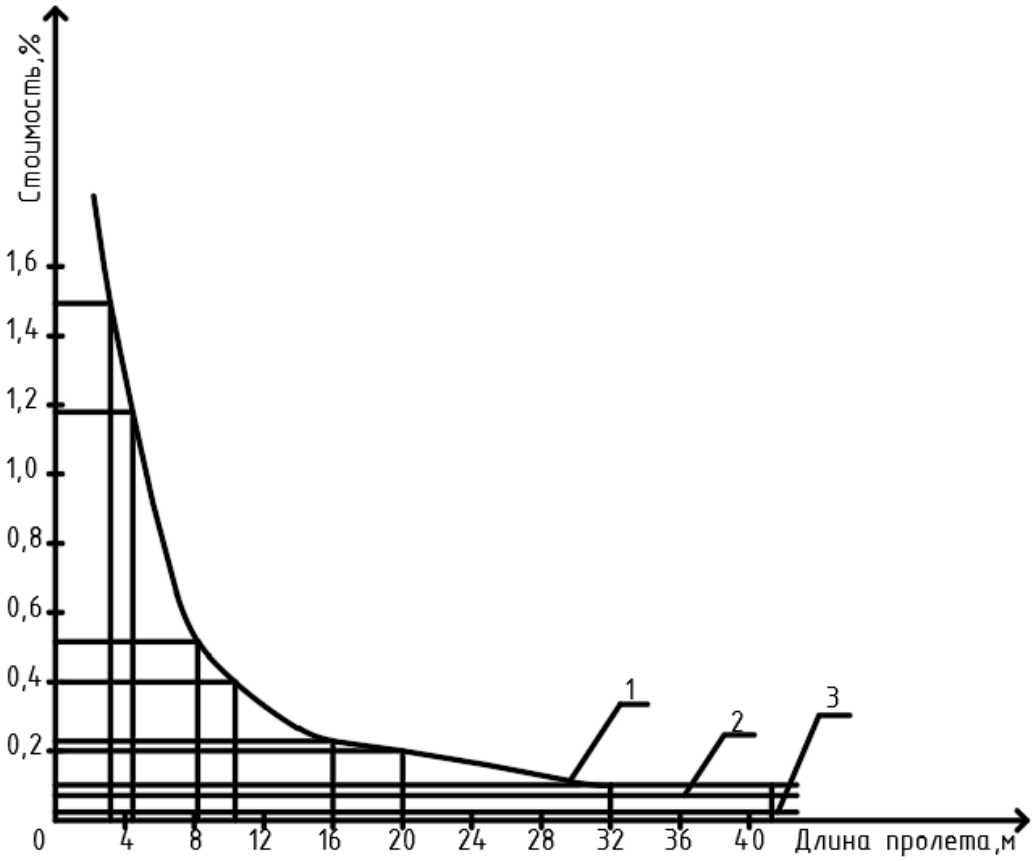


Рис. 1. Относительная стоимость ремонта деформационных швов, гидроизоляции и покрытия проезжей части:
1 – стоимость ремонта деформационных швов;
2 – то же гидроизоляции;
3 – то же, покрытия проезжей части
Источник: составлено на основании экспериментальных данных авторов

Received: 09.03.2021 Revised: 17.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.03.2021 Одобрена: 17.03.2021 Принята: 30.06.2021

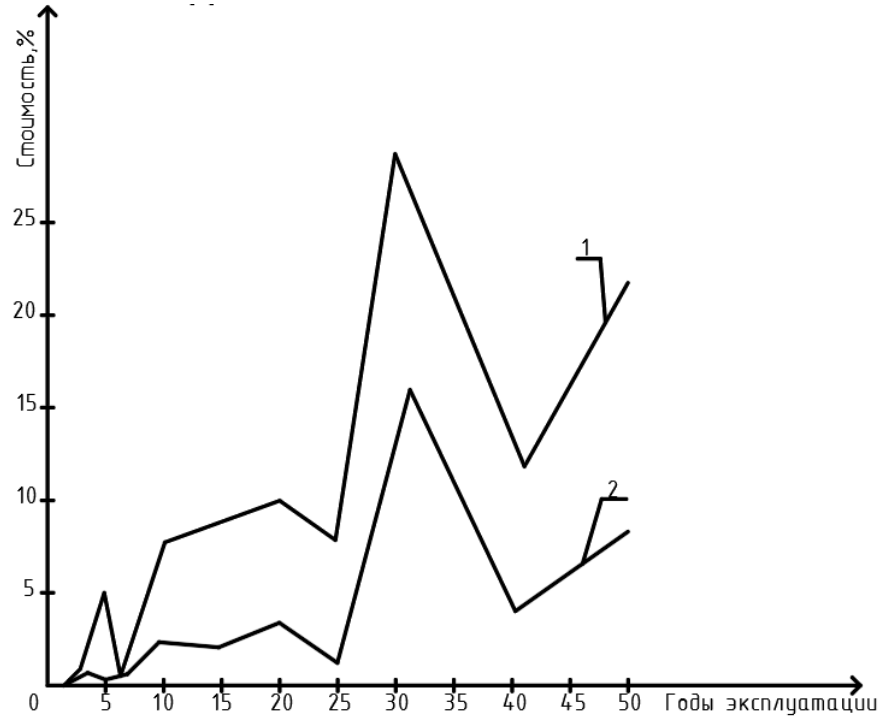


Рис. 2. Текущие (годовые) затраты на ремонт и содержание мостов:
1 – с пролетами по 2,0 м; 2 – с пролетами по 42,0 м
Источник: составлено на основании экспериментальных данных авторов

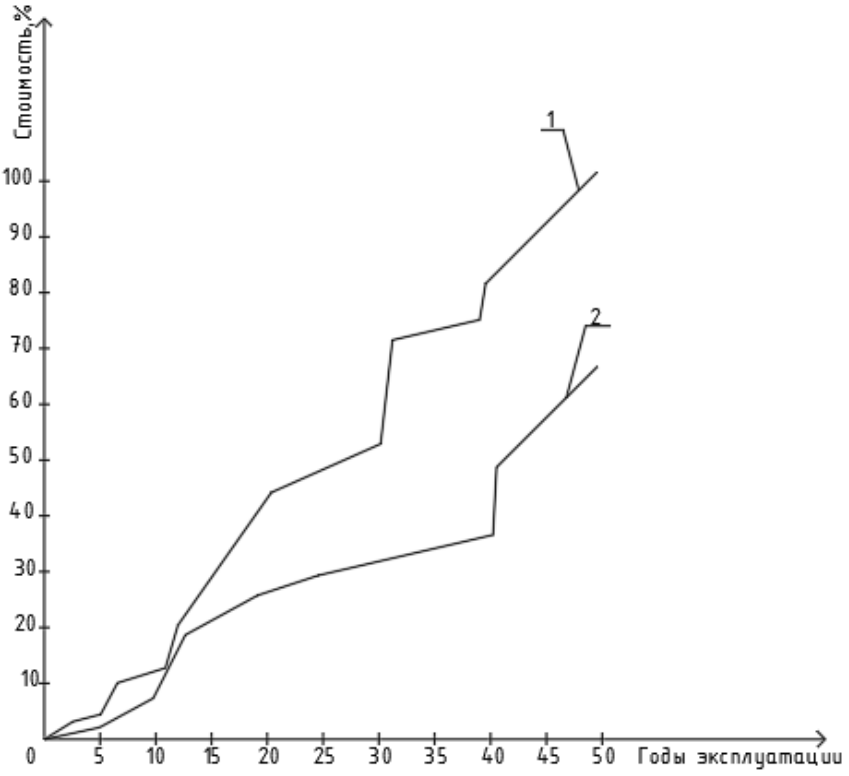


Рис. 3. Суммарные затраты на содержание и ремонт мостов:
1 – с пролетами по 2,0 м; 2 – с пролетами по 42,0 м
Источник: составлено на основании экспериментальных данных авторов

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Эти данные следует учитывать при планировании работы дорожно-строительных организаций. В настоящее время в Российской Федерации и Республике Беларусь создаются специализированные межрегиональные мостовые эксплуатационные подразделения. К ремонту мостов привлекаются мостостроительные организации, наращиваются мощности и объемы выпуска мостовых конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

При износе водонепроницаемых элементов проезжей части бетонных, каменных или железобетонных мостов вода начинается просачиваться на главные балки, опорные части, а также на сами опоры сооружения. При попадании влаги в трещины, происходит выщелачивание бетона, что в свою очередь может привести к коррозии арматурных стержней. Немалая роль в содержании моста заключается в сооружении водоотвода, который позволит дождевой воде уходить в ливневые колодцы, а не скапливаться на проезжей части [15–17]. Эти и многие другие проблемы должны решаться специально созданными мостовыми службами, которые формируются в зависимости от количества сооружений на автомобильной дороге. При создании данных производственных подразделений нужно учитывать количество и длину мостовых сооружений, которые находятся на отведенных участках дорог. Для того, чтобы выполнить большие объемы работ специального значения могут быть созданы звенья и бригады, состав которых определяют исходя из объема работ.

Для возможности квалифицированной планомерной эффективной работы по содержанию мостов целесообразно создание двух типов мостоэксплуатационных управлений или участков в зависимости от объемов работ с различными функциональными задачами. Первые выполняют работы по текущему содержанию и ремонту мостового полотна и других элементов, расходы и трудозатраты, на осуществление которых постоянны во времени [18]. Вторые – мосторемонтно-строительные – выполняют работы по капитальному ремонту, замене балок пролетного строения, усилению и реконструкции, а также строительству новых мостов. Их работа долина планироваться на основе анализа состояния существующих сооружений, сроков их эксплуатации и необходимости выполнения единовременных мероприятий. Различным должно быть и их оснащение машинами, механизмами и квалификация специалистов. При этом следует иметь в виду, что работы по текущему содержанию проезжей части мостов должны выполнять мостоэкоплуатационные участки, а не дорожные, не смотря на внешнюю кажущуюся схожесть работ. По своему содержанию эти работы на мосту и

Received: 09.03.2021 Revised: 17.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.03.2021 Одобрена: 17.03.2021 Принята: 30.06.2021

на автомобильной дороге совершенно различны. Например, при повреждении покрытия проезжей части моста, как правило, требуется не только его восстановление, но и ремонт защитного слоя, гидроизоляции и других элементов мостового полотна: крепление барьеров безопасности на мосту осуществляется по другим принципам, чем на дороге, и при их ремонте необходимо выполнять арматурные работы, бетонирование и т.п.

Авторы заявляют что:

1. У авторов данной статьи отсутствуют конфликты интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Краснощенков Ю.В. О безопасности железобетонных мостов с плитными пролетными строениями // Вестник СибАДИ. – 2018. – № 6. – С. 135–143. [Krasnoshchenkov YV. Safety of reinforced concrete bridges with spans structures. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018;(6):135-143. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.26518/2071-7296-2018-6-922-932.
2. Аверченко Г.А., Кирьян И.В. Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам. // StudNet – 2020. - Т. 3. – № 2. – С. 392–401. [Averchenko GA, Kiryan IV. Route selection and skipping excess loads on road bridges. *StudNet*. 2020;3(2):392-401. (In Russ.)]. Доступно по: https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-marshruta-i-propusk-sverhnormativnyh-nagruzok-po-avtodorozhnym-mostam. Ссылка активна на: 14.03.2021.
3. Никоноров А.Н., Зайцев А.А. Защита мостовых конструкций от атмосферной коррозии // Проблемы науки. - 2020. – Т.1. – № 49. – С. 150–156. [Nikonorov AN, Zajcev AA. Zashchita mostovyh konstrukcij ot atmosfernoj korrozii. *Problemy nauki*. 2020;1(49):150-156. (In Russ.)]. Доступно по: https://scienceproblems.ru/zashchita-mostovyh-konstruktsij.html. Ссылка активна на: 14.03.2021.
4. Макаров А.В., Журавлев А.В. Деформирующиеся плоские опорные части мостов // ИВД. – 2018. – Т. 1. – № 48. – С. 41–49. [Makarov AV, ZHuravlev AV. Deformiruyushchiesya ploskie opornye chasti mostov. *IVD*. 2018;1(48):41-49. (In Russ.)]. Доступно по: https://cyberleninka.ru/article/n/deformiruyuschiesya-ploskie-opornye-chasti-mostov. Ссылка активна на: 14.03.2021.
5. Юшков В.С., Кычкин В.И., Бармин Н.Д. Реализация диагностики и ремонта мостовых сооружений // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 118–125. [Yushkov VS, Kychkin VI, Barmin ND. Realizaciya diagnostiki i remonta mostovyh sooruzhenij. *Vestnik MGSU*. 2016;(6):118-125. (In Russ.)]. Доступно по: https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-diagnostiki-i-remonta-mostovyh-sooruzheniy. Ссылка активна на: 14.03.2021.
6. Тимофеев Д.Р., Тимофеев Д.Д. Усиление мостовых конструкций с использованием композиционных материалов // Актуальные проблемы автомобильного, железно-дорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе: материалы междунар.науч.-техн. конф. (1–3 декабря 2005 г.). Пермь: ПГТУ. – 2005. – С. 45–51. [Timofeev DR, Timofeev DD. Usilenie mostovyh konstrukcij s ispol'zovaniem kompozicionnyh materialov. Aktual'nye problemy avtomobil'nogo, zhelezno-dorozhnogo, truboprovodnogo transporta v Ural'skom

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

regione: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (1–3 dekabrya 2005 g.). *Perm': PGTU*. 2005;45–51. (In Russ.)]. Доступно по: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/dim_2006_6_17.pdf. Ссылка активна на: 14.03.2021.

7. Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2020. – № 4. – С. 60–62. [Seryh IR, CHernysheva EV, Degtyar' AN. Opredelenie tekhnicheskogo sostoyaniya zheleznodorozhnogo mosta. *Vestnik BGTU imeni V.G. SHuhova*. 2020;(4):60-62. (In Russ.)] Доступно по: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-tehnicheskogo-sostoyaniya-zheleznodorozhnogo-mosta. Ссылка активна на: 14.03.2021.
8. Васильченко А.А., Вишневецкий П.А., Файзалиев А.Ф. Современная проблематика состояния старых мостовых сооружений // Инновационная наука. – 2020. – № 2. – С. 70–74. [Vasil'chenko AA, Vishneveckij PA, Fajzaliev AF. Sovremennaya problematika sostoyaniya staryh mostovyh sooruzhenij. *Innovacionnaya nauka*. 2020;(2):70-74. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.03.2021. Доступно по: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-problematika-sostoyaniya-staryh-mostovyh-sooruzheniy.
9. Усольцев А.М., Попова Е.Г., Маликов М.Ю. Определение грузоподъемности металлических пролетных строений совмещенных мостов // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 10. – С. 27-30. [Usol'cev AM, Popova EG, Malikov MYu. Opredelenie gruzopod"emnosti metallicheskih proletnyh stroenij sovmeshchennyh mostov. *Put' i putevoe hozyajstvo*. 2020;(10):27-30. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44018943. Ссылка активна на: 14.03.2021.
10. Белый А.А., Андрушко С.Б. Пути повышения надежности эксплуатации железобетонных мостов для пропуска сверхнормативной нагрузки // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – № 1. – С. 32–41. [Belyj AA, Andrushko SB. Puti povysheniya nadezhnosti ekspluatacii zhelezobetonnyh mostov dlya propuska sverhnormativnoj nagruzki. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018;(1):32-41. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32780506. Ссылка активна на: 14.03.2021.
11. Makarov AV, Kalinovsky SA. Methods of regulating thrust in design of arch bridges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;012054. doi: 10.1088/1757-899X/451/1/012054
12. Diachenko LK, Labutin NA, Lang AV. Possible scope of filler beam bridges on the russian railways. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. International Scientific Conference Interstroymeh. 2019;ISM 2019. 2020:012082. doi: 10.1088/1757-899X/786/1/012082
13. Xia H, Li HL, Guo WW, De Roeck G. Vibration resonance and cancellation of simply supported bridges under moving train loads. J*ournal of Engineering Mechanics - ASCE*. 2014;140(5):04014015. doi: 10.1061/(asce)em.1943-7889.0000714
14. Frøseth GT, Rönnquist A. Evolution of load conditions in the Norwegian railway network and imprecision of historic railway load data. *Structure & Infrastructure Engineering: Maintenance, management, life-cycle design & performance*. 2019;15(2):152-169. doi: 10.1080/15732479.2018.1504087
15. Yin X, Liu Y, Deng L, Kong X. Dynamic behavior of damaged bridge with multi-cracks under moving vehicular loads. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2017;17(2):1750019. doi: 10.1142/S0219455417500195

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

16. Colford BR, Beabes SR., Bulmer VJ. Bridge Design for Inspection and Maintenance – a UK and US perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Bridge Engineering*. 2019;172(4):246-256. doi: 10.1680/jbren.18.00061
17. Mahamid M, Ozevin D, Torra-Bilal I, Kabir M, Mastny S, Khudeira S. et al. Structural Design and Inspectability of Highway Bridges. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 2019;14(3):06019002. doi: 10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000425
18. Charron N, McLaughlin E, Phillips S, Goorts K. Automated Bridge Inspection Using Mobile Ground Robotics. *Journal of Structural Engineering*. 2019;145(11):04019137. doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002404

Сведения об авторах:
Гуга Никита Александрович, Студент, Инженерно-строительный институт; техник-проектировщик, АО «Трансмост»;
eLibrary SPIN:0000-0000; ORCID: 0000-0003-4033-6206;
E-mail: guga.na@mail.ru
Аверченко Глеб Александрович, ассистент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;
E-mail: rusbim.com@ya.ru
Васильев Кирилл Андреевич, Студент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;
E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru
Борисов Вячеслав Андреевич, Студент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;
E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru
Исмаилов Алексей Марленович, Инженер, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 1929-1225; ORCID: 0000-0001-9325-2335;
E-mail: ismailov-aleksei@mail.ru

Information about the authors:
Nikita A. Guga, Student, Civil Engineering Institute; design-technician, JSC "Transmost";
eLibrary SPIN: 0000-0000; ORCID: 0000-0003-4033-6206;
E-mail: guga.na@mail.ru
Gleb A. Averchenko, Assistant, Civil Engineering Institute;
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;
E-mail: rusbim.com@ya.ru
Kirill A. Vasiliev, Student, Civil Engineering Institute;
eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;
E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru
Vyacheslav A. Borisov, Student, Civil Engineering Institute;
eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;
E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru
Alexey M. Ismailov, Engineer, Civil Engineering Institute;
eLibrary SPIN: 1929-1225; ORCID: 0000-0001-9325-2335;
E-mail: ismailov-aleksei@mail.ru

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Цитировать:
Гуга Н.А., Аверченко Г.А., Васильев К.А., и др. Планирование затрат и пути совершенствования службы эксплуатации мостов // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 30–41. doi: 10.17816/transsyst20217230-41

To cite this article:
Guga NA, Averchenko GA, Vasiliev KA, et al. Cost planning and ways to improve bridge maintenance. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):30-41. doi: 10.17816/transsyst20217230-41

Received: 09.03.2021 **Revised: 17.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.03.2021 **Одобрена: 17.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК 624.21.09
DOI 10.17816/transsyst20217242-54

© А.А. Трифонова[1], С.В. Алексеев[1], А.М. Егошин[2]
[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
[2] Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва
(Санкт-Петербург, Россия)

АКТУАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

В современном мостостроении предъявляются повышенные требования к материалам и конструктивным элементам, в том числе деформационным швам (Д.Ш.). Необходимо использовать усовершенствованные модели, в которых решены проблемы и недостатки стандартных, широко реализуемых конструкций, при этом обеспечивается максимальная долговечность.

Основные типы конструкций деформационных швов: Д.Ш. закрытого типа, Д.Ш. заполненного типа, Д.Ш. перекрытого типа. Рассматриваются конструктивные особенности, преимущества и недостатки различных видов Д.Ш.

На основе полученных результатов выявлено, что новые и усовершенствованные модели Д.Ш. обладают лучшими показателями по рассмотренным критериям, т.е. они обеспечивают большую надежность и долговечность швов. Наиболее совершенные конструкции швов: Д.Ш. закрытого типа с металлической опорной пластиной; Д.Ш. заполненного типа с выпуклым V-образным компенсатором и перекрывающим листом; Д.Ш. перекрытого типа с гребенчатыми плитами и шарнирно присоединенным стержнем и пружиной.

Ключевые слова: прочность, конструкция, нагрузка, материал, шов, заполнитель.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Design and Construction of Roads, Subways

© A.A. Trifonova[1], S.V. Alekseev[1], A.M. Yegoshin[2]
[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
[2] Military Educational Institution of Logistics named after General of the Army A.V. Khrulyov
(St. Petersburg, Russia)

RESENT CONSTRUCTIONS OF ROAD BRIDGES' EXPANSION JOINTS

At present, there are high requirements for materials and construction elements in civil engineering in common. These intentions are fully applicable to such bridge construction

Received: 09.04.2021 **Revised: 09.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.04.2021 **Одобрена: 09.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

elements as expansion joints. The new developed models are needed, in which all the defects and limitations of the previous models are solved and the maximum of operational life is reached.

The main types of bridge expansion joints: closed joints, filled-type joints, covered joints. In this article the construction features, advantages and disadvantages of the listed expansion joints are considered.

On the basis of the gotten results it is seen that new and developed models of different types' expansion joints have better rates in all of considered criteria. It means that these joints have bigger structural reliability and provide longer operational life of the construction. The most effective models of bridge expansion joints are: closed-type joints with metal support plate, filled-type joints with convex V-shaped compensator and covering slab, covered joints with finger slabs and flap hinged rods and springs.

Key words: strength, construction, load, material, joint, joint filler.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время требования к строительным материалам и конструкциям, используемым в мостовой и дорожной отраслях, ужесточаются. Это связано как с растущей интенсивностью движения, так и с использованием усовершенствованных технологий производства, предполагающих больший срок службы изделий. Поэтому вновь используемые при строительстве материалы и конструктивные элементы также должны обеспечивать большую надежность, нежели стандартные образцы.

На основе [1] выделены следующие типы конструкций деформационных швов: Д.Ш. закрытого, заполненного и перекрытого типов. В исследовании [2] представлена методика выбора Д.Ш. в зависимости от длины пролета моста.

Документ [1] содержит основные модели швов, уже реализуемые в мостостроении. Но, как утверждалось ранее, в современных условиях необходимо повышать уровень надежности любых конструкций, в том числе деформационных швов. В данном случае целесообразно использовать усовершенствованные или новые конструкции Д.Ш.

Цель статьи – рассмотреть существующие, а также новые и усовершенствованные модели Д.Ш., запатентованные в течение последних лет, и выявить их достоинства и возможные недостатки.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАИЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ Д.Ш.

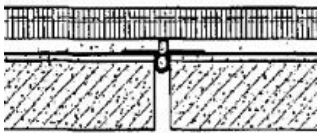
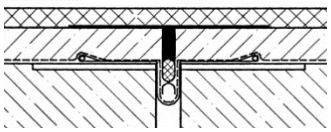
В табличной форме (Табл. 1–3) рассматриваются основные стандартные модели существующих типов Д.Ш. [1], а также новые и

Received: 09.04.2021 **Revised: 09.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.04.2021 **Одобрена: 09.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

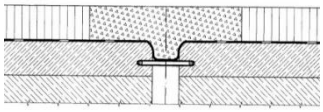
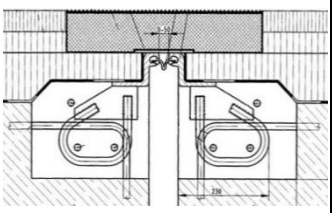
усовершенствованные варианты [3–9]. Отдельно выводятся достоинства и недостатки каждой из конструкций по следующим критериям: обеспечение прочности материалов и элементов, воспринимающих нагрузки от температурных перемещений пролетных строений; обеспечение прочности всех элементов от транспортных нагрузок; герметичность; низкие вибрационные нагрузки; сопротивляемость атмосферным воздействиям, химическим реагентам [10–18].

А) Деформационные швы закрытого типа:

Таблица 1. Сравнительный анализ Д.Ш. закрытого типа

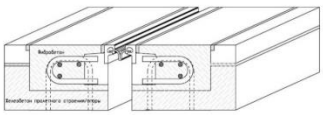
Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
1. Простая конструкция Д.Ш. закрытого типа [1]		1. Прочность основного рабочего материала (АБ-покрытие, битумы и пористые наполнители зазора) на основные нагрузки (растягивающие и сжимающие напряжения от температурных перемещений пролетных строений) обеспечена за счет армирования стальными или полимерными волокнами.	1. Плохая герметичность конструкции (отсутствие дополнительного слоя гидроизоляции); 2. Из п. 1 следует быстрая потеря прочности в нижележащих бетонных элементах моста из-за удержания в них влаги.
2. Д.Ш. закрытого типа с дополнительным обратно-выгнутым компенсатором [2]		1. Прочность рабочего материала на основные нагрузки обеспечена (см. п.1 «Простая конструкция Д.Ш. закрытого типа»); 2. Дополнительный компенсатор способствует стоку воды, препятствует удержанию влаги (герметичность), обеспечивает вентиляцию; 3. Прочность элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	

Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

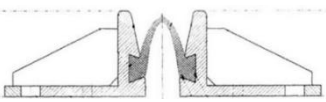
Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
3. Д.Ш. закрытого типа с щебеночно-мастичным заполнением и металлической опорной пластиной [6]		1. Прочность рабочего материала на основные нагрузки обеспечена за счет наличия металлической пластины (растягивающие напряжения); 2. Герметичность – гидроизоляционная прослойка; 3. Прочность конструктивных элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	
4.Д.Ш. закрытого типа, совмещенный с V-образным компенсатором [7]		1. Прочность рабочего материала на основные нагрузки обеспечена за счет наличия дополнительного V-образного компенсатора (растягивающие напряжения); 2. Герметичность – гидроизоляционная прослойка; 3. Прочность конструктивных элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	

Б) Деформационные швы заполненного типа:

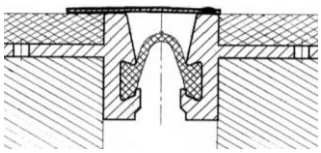
Таблица 2. Сравнительный анализ Д.Ш. заполненного типа

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
1. Простая конструкция Д.Ш. заполненного типа с V-образным		1. Прочность рабочего материла на основные нагрузки обеспечена.	1. Достаточно быстрое образование трещин в полимерном материале, причины –

Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
упругим компенсатором [1]			засорение твердыми частицами мусора, повреждение материала заостренными элементами снегоочистительной техники; 2. Плохая герметичность материала, как следствие – снижение прочности близко расположенных бетонных конструкций моста из-за удержания в них влаги.
2. Д.Ш. заполненного типа с V-образным компенсатором в виде двойной ленты [3]		1. Прочность рабочего материла на основные нагрузки обеспечена; 2. Увеличение прочности материала за счет двойной ленты (препятствие прокалыванию и дефектам материала); 3. Из п.2 следует герметичность конструкции; 4. Прочность конструктивных элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	
3. Д.Ш. заполненного типа с выпуклым V-образным компенсат		1.Прочность рабочего материла на основные нагрузки обеспечена; 2. Увеличение прочности компенсатора за счет выпуклой формы: способствует	

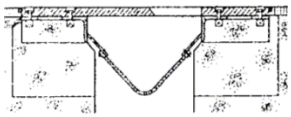
Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
ором [8]		самоочищению компенсатора, что препятствует накоплению посторонних твердых частиц, вызывающих дефекты; 3. Увеличение прочности компенсатора за счет наличия утолщенных концов; 4. Из п. 2,3 следует герметичность конструкции; 5. Прочность конструктивных элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	
4. Д.Ш. заполненного типа с выпуклым V-образным компенсатором и перекрывающим листом [4]		1. Прочность рабочего материла на основные нагрузки обеспечена; 2. Увеличение прочности за счет выпуклой формы компенсатора (см. п. 3 «Д.Ш. заполненного типа с выпуклым V-образным компенсатором»); 3. Увеличение прочности компенсатора за счет наличия металлического листа: защита Д.Ш. от атмосферных воздействий, препятствие проникновению посторонних частиц; 4. Из п. 2,3 следует герметичность конструкции; 5. Прочность конструктивных элементов моста вблизи Д.Ш. обеспечена.	

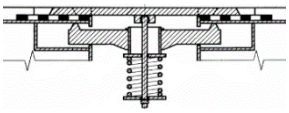
Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

В) Деформационные швы перекрытого типа:

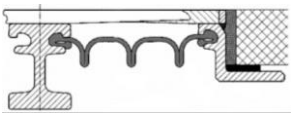
Таблица 3. Сравнительный анализ Д.Ш. перекрытого типа

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
1. Простая конструкция Д.Ш. перекрытого типа с гребенчатыми плитами [1]		1. Прочность рабочего элемента на основные нагрузки обеспечена	1. Достаточно быстрое нарушение совместной работы гребенчатых элементов (их расшатывание, выпячивание над поверхностью проезжей части); 2. Из п. 1 следует уменьшение прочности рабочих элементов Д.Ш. на действие динамических транспортных нагрузок; 3. Их п. 1 следует возникновение чрезмерной шумовой эмиссии, вибрационных нагрузок. 4. Из п. 3 следует уменьшение прочности близко расположенных бетонных конструкций моста.

Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
2. Совмещенная конструкция Д.Ш. перекрытого типа с гребенчатыми плитами и скользящими листами [13]		1. Прочность рабочего элемента на основные нагрузки обеспечена; 2. Повышение жесткости Д.Ш. за счет наличия 2-х слоев рабочих элементов (гребенчатые плиты и скользящие листы); 3. Из п. 2 следует высокая прочность Д.Ш. на действие динамических нагрузок, отсутствие чрезмерной шумовой эмиссии и вибрационных нагрузок; 4. Прочность близко расположенных бетонных конструкций моста обеспечена.	
3. Д.Ш. перекрытого типа с шарнирно присоединенным стержнем и пружиной [5]		1. Прочность рабочего элемента на основные нагрузки обеспечена; 2. Перераспределение динамических нагрузок между гребенчатыми плитами и шарнирным стержнем с пружиной, в результате – увеличение жесткости, прочности конструкции; 3. из п. 2 следует отсутствие чрезмерной шумовой эмиссии и вибрационных нагрузок; 4. Прочность близко расположенных бетонных конструкций моста обеспечена.	

Received: 09.04.2021
Поступил: 09.04.2021
Revised: 09.04.2021
Одобрена: 09.04.2021
Accepted: 30.06.2021
Принята: 30.06.2021

Название модели Д.Ш.	Схема модели	Анализ Д.Ш.	
		Достоинства конструкции	Недостатки конструкции
4. Д.Ш. перекрытого типа с гребенчатыми плитами и модульным упругим компенсатором [9]		1. Прочность рабочего элемента на основные нагрузки обеспечена; 2. Повышение жесткости и прочности Д.Ш. на действие динамических нагрузок за счет наличия дополнительного упругого компенсатора; 3. Из п. 2 следует отсутствие чрезмерной шумовой эмиссии и вибрационных нагрузок; 4. Прочность близко расположенных бетонных конструкций моста обеспечена.	

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Проведен анализ различных моделей основных типов деформационных швов. Рассмотрены как стандартные конструкции (п. 1 в Табл. 1, 2), так и новые, усовершенствованные виды (п. 2 ,3, Табл. 1–3).

Основные конструктивные преимущества новых и усовершенствованных видов Д.Ш.:

а) Д.Ш. закрытого типа: обеспечение герметичности шва (дополнительный обратно-выгнутый компенсатор, гидроизоляционные слои); повышение прочности основных рабочих материалов за счет установки элементов, воспринимающих растягивающие нагрузки (металлическая пластина, дополнительный V-образный компенсатор); долговечность элементов моста вблизи конструкции Д.Ш.;

б) Д.Ш. заполненного типа: увеличение прочности компенсатора (компенсатор в виде двойной ленты, выпуклая форма компенсатора, наличие утолщенных концов материала, наличие дополнительных металлических элементов, перекрывающих компенсатор); повышение герметичности шва; защита компенсатора от атмосферных воздействий; долговечность элементов моста вблизи конструкции Д.Ш.;

в) Д.Ш. перекрытого типа: повышение жесткости, прочности основных рабочих элементов Д.Ш., повышение прочности шва на действие

Received: 09.04.2021 Revised: 09.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 09.04.2021 Одобрена: 09.04.2021 Принята: 30.06.2021

динамических нагрузок, снижение шумовой эмиссии и вибрационных нагрузок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных результатов п. 3 можно сделать вывод, что новые и усовершенствованные модели Д.Ш. лучше удовлетворяют современным требованиям к конструкциям и материалам.

Наиболее совершенные конструкции Д.Ш. из рассмотренных типов: Д.Ш. закрытого типа с металлической опорной пластиной; Д.Ш. заполненного типа с выпуклым V-образным компенсатором и перекрывающим листом; Д.Ш. перекрытого типа с гребенчатыми плитами и шарнирно присоединенным стержнем, и пружиной.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов.
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. ОДМ 218.2.025-2012. Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах: нормативно-технический материал. [ODM 218.2.025-2012. Deformacionnye shvy mostovyh sooruzhenij na avtomo-bil'nyh dorogah: normativno-tekhnicheskij material. (In Russ.)]. Доступно по: https://docs.cntd.ru/document/1200112562. Ссылка активна на 23.03.2021.
2. Алексеев С. В., Трепалин В. А., Шевченко С. М., Трифонова А. А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путевой навигатор. – 2020. – № 43(69). – С. 3. [Alekseev SV, Trepalin VA, Shevchenko SM, Trifonova AA. Sovremennye metody sovershenstvovaniya konstrukcij deformacionnyh shvov avtodorozhnyh mostov. *Putevoj navigator*. 2020;43(69);3 (In Russ.)] Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43158634. Ссылка активна на 23.03.2021.
3. Патент РФ на изобретение № 2614172/ 23.03.17. Бюл. № 9. Должиков А.И., Катанов М.А., Ардеев В.Н., Ардеев К.В. Деформационный шов автодорожного моста. [Pat. RUS № 2614172/ 23.03.17. Byul. № 9. Dolzhikov AI, Katanov MA, Ardeev VN, Ardeev KV. Deformacionnyj shov avtodorozhnogo mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38261256. Дата обращения: 23.03.2021.
4. Патент РФ на изобретение № 190001/ 21.09.18. Бюл. № 17. Алейнер А.В. Деформационный шов автодорожного моста. [Pat. RUS № 190001/ 21.09.18. Byul. № 17. Alejner AV. Deformacionnyj shov avtodorozhnogo mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000190091_20190618_U1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
5. Патент РФ на изобретение № 1844659/ 14.05.18. Бюл. № 31. Шульман С.А. Деформационный шов. [Pat. RUS № 1844659/ 14.05.18. Byul. № 31 SHul'man SA. Deformacionnyj shov. (In Russ.)]. Режим доступа:

Received: 09.04.2021 **Revised: 09.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.04.2021 **Одобрена: 09.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000184659_20181102_U1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
6. Патент РФ на изобретение № 2706979/ 19.02.19. Бюл. № 33. Еремеев В.П., Еремеев П.В. Деформационный шов моста. [Pat. RUS № 2706979/ 19.02.19. Byul. № 33 Eremeev VP, Eremeev PV. Deformacionnyj shov mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002706979_20191121_C1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
7. Патент РФ на изобретение № 2681044/ 27.03.18. Бюл. № 7. Еремеев В.П. Деформационный шов моста. [Pat. RUS № 2681044/ 27.03.18. Byul. № 7 Eremeev VP. Deformacionnyj shov mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002681044_20190301_C1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
8. Патент РФ на изобретение № 156213/ 21.05.15. Бюл. № 31. Поспелов В.М., Старченко В.С. Деформационный шов моста. [Pat. RUS № 156213/ 21.05.15. Byul. № 31 Pospelov VM, Starchenko VS. Deformacionnyj shov mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000156213_20151110_U1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
9. Патент РФ на изобретение № 157180/ 09.07.15. Бюл. № 32. Шульман С.А. Деформационный шов моста. [Pat. RUS № 157180/ 09.07.15. Byul. № 32 SHul'man SA. Deformacionnyj shov mosta. (In Russ.)]. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000157180_20151120_U1_RU/. Дата обращения: 23.03.2021.
10. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного материала в мостостроении / Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. 24 ноября 2019 года; СПб. Под ред. Ивановской И.И. Петрозаводск: "Международный центр научного партнерсва Новая наука", 2019. – С. 229–231. [Averchenko GA, Ogurcov GL. Perspektivy ispol'zovaniya kompozitnogo materi-ala v mostostroenii In: Ivanovskaya II, aditor. Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendencii razvitiya. 2019 Nov 24; St. Petersburg. Petrozavodsk: Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnersva Novaya nauka; 2019. p. 229-231. (In Russ.).]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41475166&pff=1. Ссылка активна на 23.03.2021.
11. Овчинников И.И. Анализ конструктивных особенностей деформационных швов мостов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – С. 297–304. [Ovchinnikov II. Analiz konstruktivnyh osobennostej deformacionnyh shvov mostov. *Modernizaciya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2012;297-304. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18875154. Ссылка активна на 23.03.2021.
12. Овчинников И.Г. Особенности и проблемы применения инновационных технологий в транспортном строительстве // Инновационный транспорт. – 2014. – С. 46–53. [Ovchinnikov IG. Osobennosti i problemy primeneniya innovacionnyh tekhnolo-gij v transportnom stroitel'stve. *Innovacionnyj transport*. 2014;46-53. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21260641. Ссылка активна на 23.03.2021.
13. Бондарев Б.А. Оценка износа конструкций деформационных швов и пути повышения их долговечности // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – С. 126–132. [Bondarev BA. Ocenka iznosa konstrukcij deformacionnyh shvov i puti povy-sheniya ih dolgovechnosti. *Vestnik permskogo nacional'nogo issledovatel'sko-*

Received: 09.04.2021 **Revised: 09.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.04.2021 **Одобрена: 09.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

go politekhnicheskogo universiteta. 2019;126-132. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41805115. Ссылка активна на 23.03.2021.
14. Лазарев Ю. Г. Применение информационного моделирования при диагностике и обследовании мостовых сооружений / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 29 ноября 2018 года; СПб. Под ред. Козин В.М. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2018. – С. 223–227. [Lazarev YUG. Primenenie informacionnogo modelirovaniya pri diagnostike i obsledovanii mostovyh sooruzhenij In: Kozin VM, aditor. Regional'nye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arhitektury, stroitel'stva, zemleustrojstva i kadastrov v nachale III tysyacheletiya. 2019 Nov 21; St. Petersburg. Komsomol'sk-na-Amure: Komsomol'skij-na-Amure gosudarstvennyj universitet; 2019. p. 223-227 (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38588199. Ссылка активна на 23.03.2021.
15. MULTI. The online architecture and design exhibition [Internet]. Available from: https://www.archiexpo.com/prod/mageba/product-126411-1332697.html.
16. Niemierko A. Modern bridge bearings and expansion joints for road bridges. *Transportation Research Procedia*. 2016;4040-4049. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.501
17. Huadong L. The Cause Analysis on the Highway Bridge Expansion Joints and the Maintenance of Construction Management. *2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology*. 2016. doi: 10.2991/mmeceb-15.2016.10
18. Jelínek D, Meng N, O'Suilleabhain C. The particular challenges of expansion joint installation in steel bridges – Case studies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 419*. 2018. doi: 10.1088/1757-899x/419/1/012017

Сведения об авторах:
Трифонова Ангелина Александровна, студент;
eLibrary SPIN: 9870-5498; ORCID: 0000-0003-2968-6897;
E-mail: trifonova97@mail.ru
Алексеев Сергей Викторович, кандидат военных наук, доцент;
eLibrary SPIN: 6013-0312; ORCID: 0000-0001-8632-3852;
E-mail: sergeyaleks1966@gmail.com
Егошин Алексей Михайлович, доктор технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 7338-7504; ORCID: 0000-0003-2025-2590
E-mail: al-ego@yandex.ru

Information about the authors:
Angelina A. Trifonova, student;
eLibrary SPIN: 9870-5498; ORCID: 0000-0003-2968-6897;
E-mail: trifonova97@mail.ru
Sergey V. Alekseev, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 6013-0312; ORCID: 0000-0001-8632-3852;
E-mail: sergeyaleks1966@gmail.com
Alexey M. Yegoshin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 7338-7504; ORCID: 0000-0003-2025-2590
E-mail: al-ego@yandex.ru

Received: 09.04.2021 **Revised: 09.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 09.04.2021 **Одобрена: 09.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

Цитировать:
Трифонова А.А., Алексеев С.В., Егошин А.М. Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 42–54. doi: 10.17816/transsyst20217242-54

To cite this article:
Trifonova AA, Alekseev SV, Yegoshin AM. Resent constructions of road bridges' expansion joints. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):42-54. doi: 10.17816/transsyst20217242-54

Received: 09.04.2021
Поступил: 09.04.2021
Revised: 09.04.2021
Одобрена: 09.04.2021
Accepted: 30.06.2021
Принята: 30.06.2021

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 656.611.2
DOI 10.17816/transsyst20217255-75

© В. А. Манова[1], А. С. Лебедева[1], О. Н. Новинюк[1], В. В. Сыропятов[2]
[1] Университет ИТМО
[2] Научно-исследовательский институт «Высшая школа экономики»
(Санкт-Петербург, Россия)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИННОВАЦИОННОГО ПОРТОВОГО ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В статье анализируются существующие методики оценки готовности территорий к формированию транспортно-логистического комплекса, исследуются факторы, влияющие на формирование инфраструктуры инновационного портового транспортно-логистического комплекса, разрабатывается авторская методика оценки готовности территорий к формированию инфраструктуры инновационного портового транспортно-логистического комплекса.

Ключевые слова: портовый трансрортно-логистический комплекс, критериальная методика, инфраструктура портового транспортно-логистического комплекса.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© V. A. Manova[1], A. S. Lebedeva[1], O. N. Noviniuk[1], V. V. Syropyatov[2]
[1] ITMO University
[2] Research Institute "Higher School of Economics"
(St. Petersburg, Russia)

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE READINESS OF TERRITORIES FOR THE FORMATION OF THE INFRASTRUCTURE OF THE INNOVATIVE PORT LOGISTICS COMPLEX

The article analyzes the existing methods for assessing the readiness of territories for the formation of a logistics complex, examines the factors affecting the formation of the infrastructure of an innovative port logistics complex. An author's method for assessing the readiness of territories for the formation of the infrastructure of an innovative port logistics complex.

Keywords: port logistics complex, criterial methodology, infrastructure of the port logistics complex.

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

ВВЕДЕНИЕ

Транспортный сектор страны играет важную роль в формировании целостного экономически развитого государства. Создание транспортно-логистических комплексов (ТЛК) способствует повышению конкурентоспособности как отдельного региона или отрасли, так и государства в целом. Особую роль в данном процессе играют портовые комплексы, обрабатывающие значительную долю всех грузопотоков, в связи с чем далее в работе будут рассмотрены именно портовые ТЛК (ПТЛК).

С одной стороны, грамотно сформированный ПТЛК влияет на внешний и внутренний грузооборот страны, повышает конкурентоспособность федеральной и региональной транспортных систем, особенно если речь идет о комплексе, в инфраструктуру которого систематически внедряются инновационные технологии. С другой стороны, создание и развитие инфраструктуры инновационного ПТЛК — это значительные финансовые и трудовые затраты, а также воздействие на социальные и экосистемы региона. В связи с этим, возникает потребность в обоснованном выборе территорий для целенаправленного формирования инфраструктуры инновационных ПТЛК.

Это обуславливает актуальность темы исследований и интерес к данной проблематике со стороны отечественных и зарубежных ученых. Например, Фрейдман О.А. рассматривает данную проблему с точки зрения логистического потенциала, учитывая количественные и качественные показатели [1]. Носов А.Л. в своей диссертации исследует логистическую инфраструктуру как основу роста эффективности региональной логистики на примере Кировской области [2]. В статье «Evaluation of Development Potential of Ports in the Yangtze River Delta Using FAHP-Entropy Model» [3] представлена методика, учитывающая систему оценочных индексов, состоящую из четырех основных показателей и четырнадцати вспомогательных. С помощью данной методики были проанализированы восемь портов в дельте реки Янцзы в Китае. Однако, перечисленных исследований недостаточно для проведения комплексной оценки готовности территорий, они не представляются универсальными и не учитывают особенности инновационного развития ПТЛК.

Таким образом, целью данной работы является разработка универсальной методики оценки готовности территорий к инновационному развитию инфраструктуры ПТЛК на основе анализа существующих инструментов.

В соответствии с целью исследования необходимо решить следующие задачи:

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

1. Проанализировать существующие методические инструменты, которые потенциально возможно применить для оценки готовности территорий;
2. Выявить и ранжировать факторы, влияющие на формирование инфраструктуры инновационного ПТЛК
3. Определить показатели, которые позволяют оценить выявленные факторы;
4. Разработать методику оценки готовности территорий к формированию инфраструктуры инновационного ПТЛК;
5. Определить ограничения и практическую значимость методики.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

Под инфраструктурой инновационного ТЛК в рамках исследования понимается комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и обеспечивающих основу функционирования системы. Это определяет требования к инструментам оценки готовности территорий к формированию объектов подобного рода. В первую очередь, они должны учитывать достаточно большое количество факторов, которые определяют целесообразность вложений в развитие объектов именно на этих территориях. Во-вторых, оценка, должна проводится по каким-либо критериям или показателям. При этом фактически и достоверно оценить некоторые из них не представляется возможным ввиду отсутствия или дефицита статистической или иной информации. Наконец, методика должна учитывать специфику инфраструктуры именно инновационного ПТЛК, так как активное внедрение инновационных технологий предполагает существенное изменение в организации процессов и взаимодействии элементов системы комплекса.

На сегодняшний день не существует общепризнанной методики, с помощью которой можно оценить готовность территории к формированию инфраструктуры инновационного ПТЛК. Однако есть различные подходы к оценке территорий для схожих объектов в других областях, например в градостроении. Рассмотрим их подробнее с точки зрения целесообразности применения для оценки объекта исследования.

О.А. Фрейдман в своей работе «Анализ логистического потенциала региона» предлагает использовать «метод критериальной оценки логистического потенциала региона». Он рассматривает логистический потенциал региона как «совокупность факторов и объектов логистической инфраструктуры, способствующих выполнению задач оптимизации материальных потоков в рамках реализации стратегических задач регионального и национального обеспечения» [1]. В исследовании автор

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

говорит о том, что понятие логистического потенциала неотделимо от логистической инфраструктуры. Первое, по мнению автора, должно иметь как количественную оценку, так и качественную.

В данной методике учитывается влияние различных факторов на качественные показатели логистических процессов, а также, возможные риски. Помимо научного и кадрового потенциала, также измеряется мощность транспортной и перегрузочной техники, мощности складов, эффективность процессов, протекающих на их территории. Кроме того, нельзя пренебрегать прогнозными показателями спроса на логистические услуги и возможными рисками. Таким образом, в данном методе показатель логистического потенциала региона состоит из суммы уже рассчитанных индексов и показателей эффективности множества элементов. При этом учитывается направление и теснота факторной связи. Для определения итогового агрегированного значения предлагается использовать 5 групп показателей: географическое положение, транзитный потенциал, эффективность транспортных систем, эффективность складской системы, кадровый потенциал и количество выпускников логистических факультетов.

Приведённые факторы оцениваются с помощью системы показателей, что, по мнению автора, позволяют определить логистический потенциал инфраструктуры. Агрегированный показатель можно использовать для оценки таких территориальных единиц как город, область или страна. Однако, данная методика не раскрывает в полной мере все аспекты, которые необходимо учитывать при оценке готовности территории для формирования инфраструктуры инновационного ТЛК.

Методика логистического потенциала и активности муниципальных районов региона предложена в работе О.Н. Рожко [5]. Данная методика состоит из четырёх этапов. Первый этап включает в себя формирование критериев и показателей, применяемых к оценке логистической активности определённых районов. В нее входят 28 факторов логистического потенциала: три показателя рассчитываются по формулам, девять показателей являются бинарными, а остальные определяются в количественном выражении на основе статистических данных. Вторым этапом является разработка рекомендаций по выбору территорий для строительства объектов на основании выделенных критериев. На третьем этапе составляется матрица, которая отражает предпочтительное размещение объектов логистической инфраструктуры (распределительные центры, грузовые станции и т.д). Она создается в специальной прикладной программе, разработанной А.М. Шихалиевым [4], которая позволяет расставить в приоритетном порядке регионы (в данном исследовании) для размещения логистических центров. Таким образом, выделяются оптимальные альтернативы для того, чтобы перейти к четвертый этапу,

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

который подразумевает создание имитационной дискретно-событийной модели в программе *AnyLogic*. Она позволяет сымитировать технологические процессы в пространственно-временных рамках и исследовать по блокам логистическую цепочку.

Совершенно иной подход применяется в методике, которая основана на оценке показателей грузооборота и густоты путей сообщения рассматриваемого региона, предлагаемой А.С. Койчубаевым [6]. При этом, грузооборот рассчитывается как объем перевозимых грузов по видам транспорта и находится как сумма произведений массы всех перевезённых грузов на расстояние перевозки. Плотность путей сообщения находится с помощью измерения протяженности ж/д путей и автодорог, которые приходятся на единицу площади территории [4]. Однако данный подход оценивает готовность территорий только с точки зрения одного аспекта, не позволяет провести комплексную оценку и является вспомогательным.

С точки зрения градостроения, существуют методики, учитывающие размещение объекта относительно жилой зоны, особенности формирования транспортной сети в конкретном регионе, место расположения, уровень снабжения, стратегию складирования, транспорт и географию [9–10]. После определения месторасположения транспортного объекта необходимо выбрать конкретный участок строительства. При этом необходимо учитывать конфигурацию и площадь участка, транспортную доступность местности, муниципальные проекты и планы, законодательство и правила строительства, а также, нормативы и стандарты. С точки зрения градостроения, также важно учитывать качественные и количественные показатели. К первым можно отнести зонирование территории, возможность разделение грузовых и пассажиропотоков, размещение логистических объектов, объектов обслуживания, подразделение на участки и блоки, входы, въезды, дороги, проезды и стоянки для транспорта, тип застройки и характер освоения промышленной площади. К количественным показателям относятся количество объектов, занимаемые ими площади, плотность застройки, интенсивность использования территории, протяженность внешних и внутренних путей. Генеральный план ПТЛК отличается малообъектной застройкой с оптимальной плотностью застройки и высокой интенсивностью использования территории. Застройка, как правило, производится павильонным типом одноэтажных зданий с большой степенью блокирования.

Развитие инфраструктуры комплексов уже на используемых территориях предоставляется возможным на основе внутренних территориальных резервов. Зонирование территории отличается наличием нескольких зон погрузки и разгрузки, развитой зоной отстоя транспорта, а потоки – наличием различных видов транспорта.

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Аналитика территории с точки зрения градостроения может разделяться на следующие элементы:

1. Отраслевая принадлежность (в нашем случае, это транспорт);
2. Исследование размещения:

– по уровню: микро-, мезо-, макросистема;
– по расположению относительно жилой зоны;
– транспортная сеть (виды транспорта, наличие выхода к воде, наличие международных транспортных коридоров (МТК), специализация, наличие трудовых ресурсов, плотность клиентской сети и т.д.);
– выбор места размещения (склад, производство, точка сбыта или промежуточное размещение);
– транспортная инфраструктура;

3. Перспективы генерального плана:

– тип и характер застройки;
– перспективы развития ПТЛК (резервные площади и мощности);
– возможность функционально-планировочного баланса, включая производственные зоны, типы сооружений, пешеходные и транспортные потоками, грузооборот склада и длина погрузо-разгрузочного фронта, застроенные/ незастроенные, благоустроенные/ неблагоустроенные участки с озеленением или замощением.

Также анализируются климатические условия (рельеф и региональные особенности) и технико-экономические показатели.

Данную методику целесообразно использовать при проведении предпроектного анализа территории, однако она не применима для оценки развития и формирования инфраструктуры ПТЛК уже на ограниченном, существующем участке территории.

В Табл. 1 приведён сравнительный анализ всех рассмотренных подходов и методик.

Таблица 1. Анализ методик оценки готовности территории к формированию объектов

Автор и название методики	**Сущность**	**Элементы, которые могут быть применены для оценки объекта исследования**
Методики, оценивающие логистический потенциал		
Критериальная оценка логистического потенциала региона (Фрейдман О.А.)	Применяется система факторов, влияющих на качественные показатели логистических процессов и возможные риски	Отдельные факторы и показатели
Оценка логистической активности муниципальных	Четырёхэтапная методика с применением	Имитационно-дискретное моделирование

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Автор и название методики	Сущность	Элементы, которые могут быть применены для оценки объекта исследования
районов региона (Рожко О.Н.)	имитационной дискретно-событийной модели	для апробации
Методика, учитывающая грузооборот и густоту путей (Койчубаев А.С.)	Оценка производится по количественным показателям. Не учитывается качественный аспект	В качестве дополнения перечня показателей
Методики, учитывающие требования градостроения		
Градостроение (Яковлев М.А., Белоусова Н.С.)	Учитывают технологии градостроения	Учет нормативов и стандартов

На основе анализа существующих инструментов, их преимуществ и недостатков, авторами выделены элементы методик, которые потенциально возможно применить для оценки готовности территории к формированию инновационного ПТЛК.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИННОВАЦИОННОГО ПТЛК

Для оценки готовности территорий к формированию объектов инфраструктуры инновационного ПТЛК, необходимо учитывать ряд факторов, которые оказывают непосредственное влияние на данный процесс.

В активы инфраструктуры могут входить как отдельные здания и сооружения, транспорт и оборудование, а также, инженерные сооружения.

Основополагающим фактором в формировании инфраструктуры является уровень её развитости. Портовый ТЛК располагается в регионах, имеющих выход к воде, а, следовательно, ведущий вид транспорта – морской. В инфраструктуру ПТЛК входят: причалы, пирсы для разгрузки и погрузки грузов, якорные стоянки, доки, судоподъемные сооружения, а также обслуживающий транспорт и портовое оборудование (перегрузочные установки: краны, ричстакеры, бульдозеры, погрузчики и т.п.). Например, количество причалов влияет на количество судов, которые могут быть пришвартованы одновременно. Недостаточное количество причалов вызывает очереди судов, что снижает эффективность перевозок. Кроме того, к инфраструктуре относятся подходные каналы, фарватеры, акватории, внутренние рейды, подводные и другие гидротехнические сооружения, автомобильные и ж/д пути, находящиеся в порту, крановые

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

рельсовые пути, линий связи и сигнализации, а также различные инженерные коммуникации. Помимо вышеперечисленных аспектов, необходимо учитывать их соответствие нормам технологического проектирования портов. Например, такой показатель потенциал технологического проектирования подразумевает под собой зонирование территории, нормативные расстояния между причалами, зданиями и сооружениями, возможность разделение грузовых и пассажиропотоков, размещение логистических объектов, объектов обслуживания, подразделение на участки и блоки, входы, въезды, дороги, проезды и стоянки для транспорта, тип застройки и характер освоения промышленной площади а также, потенциальные возможности для расширения территории ТЛК и внедрения новых объектов.

Следующая группа факторов – географические. Сюда входят географическое положение комплекса и, как следствие, виды используемого транспорта, а также транзитный потенциал. Кроме того, расположение ПТЛК формирует объем и вид обрабатываемых грузов. Например, ПТЛК, расположенные вблизи международных транспортных коридоров, пропускают через себя больший грузопоток. В свою очередь, чем больше и разнообразнее грузопоток, тем больше различных площадей и техники необходимо для его обработки. Транзитный потенциал играет важную роль в формировании ПТЛК, так как этот фактор учитывает морские и сухопутные конкурентные преимущества территории. Как правило, учитывается географическое положение относительно транспортных коридоров, экономика внутренних районов и транспортная доступность. Оценивается потенциал развития порта через состояние сети с точки зрения преимуществ местоположения по отношению к глобальной сети морского транспорта.

Ещё одним фактором, который оказывает влияние на инфраструктуру порта, является объем и характеристики обрабатываемого груза. От этого зависят размер и вид складских площадей (открытые/закрытые). Например, опасные грузы необходимо располагать в дали от легковоспламеняющихся грузов, а для зерна нужны специальные элеваторы.

Отсюда вытекает фактор эффективности складской системы, который позволяет учесть скорость выполнения складских операций, достаточное количество площадей для размещения грузов, наличие систем интеграции, что влияет на грузооборот.

Следующим фактором, влияющим на инфраструктуру ТЛК является возможность осуществления тех или иных операций: погрузка/выгрузка специализированных грузов, операция траншипмента, обработка контейнеров и т.д.

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

При импорте или экспорте в состав инфраструктуры включаются таможенная и пограничная службы, а также россельхознадзор. Они входят в состав административных зданий и располагают необходимой техникой и площадями.

Инновационные технологии оказывают сильное влияние не только на инфраструктуру порта, но и на работу ТЛК в целом. Внедрение инноваций характеризуется наличием новейших систем, таких как интернет вещей, беспилотные транспортные средства, погрузчики, дроны и т.д. Внедрение инновационных решений в информационном и финансовом потоках может отражаться на наличии более объемных и мощных серверов, сооружений и оборудования, обеспечивающих связь и высокоскоростной интернет. Для мониторинга погодных условий строятся современные метеостанции, оснащенные датчиками.

Очень важно, чтобы региональная политика включала в себя программы, направленные на развитие логистики, и, в частности, ТЛК, ведь с благодаря этому развиваются припортовые города и округи, находящиеся вблизи этих городов.

Финансирование и объем привлекаемых инвестиций может обеспечить достаточную финансовую поддержку для развития ПТЛК и применение в нем инновационных технологий, что влияет на потенциал развития порта. Анализ финансовой обеспеченности ПТЛК показывает его устойчивость к внешним и внутренним факторам.

Экологические инициативы в основном включают политику управления охраной окружающей среды ПТЛК. Этот индекс тесно связан с устойчивым развитием порта.

Кадровый потенциал подразумевает под собой долю руководителей, специалистов и рабочих, выпускников вузов транспортно-логистических специальностей.

Рассмотренные факторы представлены на Рис. 1.

Все факторы можно разделить на 4 группы: внешние региональные, организационно-управленческие, логистические и географические. Однако не все факторы в равной степени оказывают влияние на формирование инновационной инфраструктуры ТЛК.

С целью ранжирования факторов по степени влияния проведен экспертный опрос, на основе которого определены веса факторов. Экспертами выступили специалисты в области логистики с опытом работы более 5 лет, соответствующие следующим критериям:

- Должны знать рынок (тенденции, движущие силы отрасли, требования к оборудованию в порту, ключевые факторы, оказывающие влияние на портовую отрасль);
- Обладать знаниями в области грузовых операций в порту;

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

- Иметь высшее образование по специальности технология транспортных процессов и опыт работы не менее 5 лет на руководящих должностях в транспортной отрасли;
- Быть независимым своих суждениях и в тоже время уметь прислушиваться к мнению других людей;
- Обладать аналитическим мышлением.

Рис. 1. Факторы, формирующие ПТЛК

Экспертам было предложено проранжировать факторы по значимости: от наиболее важного при формировании инновационного ПТЛК к оказывающему наименьшее влияние (от 1 до 9, где 9 соответствует максимальному влиянию, а 1 – минимальному). Каждому фактору был присвоен номер от 1 до 9:

1. Развитость существующей инфраструктуры и применение инновационных технологий (Ф1);
2. Возможность обработки различных видов транспорта и грузов (Ф2);
3. Направленность региональной политики (Ф3);
4. Финансовая обеспеченность (Ф4);
5. Географическое положение (Ф5);
6. Экологические инициативы (Ф6);
7. Транзитный потенциал (Ф7);
8. Эффективность складской системы (Ф8);
9. Кадровый потенциал (Ф9);
10. Применение инновационных технологий (Ф10).

Результаты экспертного оценивания представлены в Табл. 2.

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

Таблица 2. Результаты экспертного оценивания

Объект	**Эксперт 1**	**Эксперт 2**	**Эксперт 3**	**Эксперт 4**	**Эксперт 5**	**Сумма оценок**	**Средние значения оценок экспертов**
Ф1	5	5	6	5	5	26	5,2
Ф2	8	6	5	4	6	29	5,8
Ф3	9	7	8	7	7	38	7,6
Ф4	4	8	7	9	8	36	7,2
Ф5	7	9	9	8	9	42	8,4
Ф6	2	1	1	2	1	7	1,4
Ф7	6	4	2	6	4	22	4,4
Ф8	1	3	3	1	2	10	2
Ф9	3	2	4	3	3	15	3

Таким образом, наибольшая оценка по мнению экспертов присваивается фактору «Географическое положение», наименьшую оценку получил фактор «Экологические инициативы». Это связано с тем, что тема экологии в России только набирает свои обороты, а от географического положения зависят объемы и виды обрабатываемого груза, что отражается на финансовых показателях.

Определим коэффициенты компетентности экспертов для расчета веса оценки каждого эксперта по формуле:

$$E_i = \frac{\sum(L_{ij} \times R_i)}{\sum(R_i \times P_i)}, \quad (1)$$

где E_i – коэффициент компетентности i-го эксперта;
L_{ij} – оценка, поставленная j-м экспертом для i-го объекта;
R_i – средняя оценка i-го объекта;
P_i – суммарная оценка i-го объекта.

В Табл. 3 представлены результаты взвешенных оценок с учетом веса компетентности экспертов.

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Таблица 3. Расчет взвешенных оценок

Объект	**Эксперт 1 E_i =0,19523**	**Эксперт 2 E_i =0,20221**	**Эксперт 3 E_i =0,20003**	**Эксперт 4 E_i =0,19959**	**Эксперт 5 E_i =0,20294**	**Сумма оценок**
Ф1	0,976159	1,011048	1,200174	0,997965	1,014682	5,200029
Ф2	1,561855	1,213258	1,000145	0,798372	1,217619	5,791249
Ф3	1,757087	1,415467	1,600233	1,397151	1,420555	7,590493
Ф4	0,780927	1,617677	1,400204	1,796337	1,623492	7,218636
Ф5	1,366623	1,819887	1,800262	1,596744	1,826428	8,409943
Ф6	0,390464	0,20221	0,200029	0,399186	0,202936	1,394825
Ф7	1,171391	0,808838	0,400058	1,197558	0,811746	4,389592
Ф8	0,195232	0,606629	0,600087	0,199593	0,405873	2,007414
Ф9	0,585696	0,404419	0,800116	0,598779	0,608809	2,997819

Оценка качества экспертизы проведена с помощью оценки согласованности мнений экспертов, то есть путем нахождения коэффициента конкордации по формуле:

$$M = \frac{12 \times F}{k^2 \times (q^3 - q)^1}, \quad (2)$$

где M - коэффициент конкордации;

F – сумма квадратов отклонений суммарной оценки от среднего значения фактора;

k – количество экспертов;

q – количество факторов.

Согласно расчетам, коэффициент конкордации составил 0,627, что говорит высокой степени согласованности мнения экспертов и качестве оценки. Итоговые результаты экспертных оценок и ранжирование факторов по мере снижения степени влияния на формование инновационной инфраструктуры ПТЛК отражены в Табл. 4.

Таблица 4. Сортировка факторов по мере убывания оценок

Фактор	**Экспертная оценка**
Географическое положение	8,409943
Направленность региональной политики	7,590496

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Фактор	Экспертная оценка
Финансовая обеспеченность	7,59049
Возможность обработки различных видов транспорта и грузов	5,791249
Развитость существующей инфраструктуры и применение инновационных технологий	5,200029
Транзитный потенциал	4,389592
Кадровый потенциал	2,997819
Эффективность складской системы	2,007414
Экологические инициативы	1,394825

Таким образом, по мнению экспертов, самым значимым фактором для оценки готовности территории является географическое положение ПТЛК. Вторым по важности фактором является региональная политика, следом идёт финансирование. Наименее значимым, по мнению экспертов, является фактор «Экологические инициативы».

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ГОТОВНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИННОВАЦИОННОГО ПТЛК

Разрабатываемая методика должна соответствовать таким принципам, как системность, комплексность, целостность, последовательность и многофакторность и предполагать количественное измерение готовности территории для формирования инфраструктуры инновационного ПТЛК. Для этого каждый из выявленных факторов должен быть оценен на основе показателей, которые представлены в Табл. 5.

Таблица 5. Показатели оценки готовности территории к формированию инфраструктуры инновационного ПТЛК

Фактор	Показатели
Географическое положение	- объем и виды обрабатываемых грузов, тыс.тонн;
	- близость расположения МТК, км;
	- наличие выхода к морским путям, да/нет;
	- наличие близлежащих или прилегающих свободных территорий, да/нет;
	- климатические условия (рельеф, благоприятные погодные условия), да/нет;
	- близость расположения мегаполиса, км

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

Фактор	Показатели
Направленность региональной политики	- наличие проектов или программ по развитию логистической системы в регионе, да/нет
	- размер субсидий, выделяемых на транспортно-логистические объекты, руб.
Финансовая обеспеченность	- размер частных инвестиций в развитие портов, руб.
	- размер инвестиций государства, руб.
Способность к обработке различных видов транспорта и грузов	- количество видов транспорта, шт.
	- скорость обработки грузов по видам транспорта ед./мин.
	- разновидности грузов, шт.
Развитость существующей инфраструктуры и применение инновационных технологий	- длина причальной линии, м
	- потенциал технологического проектирования, да/нет
	- количество причалов, шт.
	- ёмкость складских площадей, $м^3$
	- плотность путей сообщения, $км/м^2$
	- пропускная способность порта, тонн/сут./мес./год
Транзитный потенциал	- скорость таможенных операций, ед/день
	- время прохождения транзитных грузов, часы
	- количество простоев, шт/мес.
Кадровый потенциал	- количество транспортно-логистических направлений подготовки и специализаций в регионе, шт.
	- наличие транспортных компаний с опытом работы более 10 лет, шт.
Эффективность складской системы	- наличие складов высокого класса, да/нет
	- расположение складов относительно транспортных мощностей, выгодно/невыгодно
	- доля складов высоких классов, %
Экологические инициативы	- наличие политики по экологической устойчивости в регионе, да/нет

Таким образом, для каждого фактора было выявлено от одного до шести показателей. На этом шаге заканчивается подготовительный этап.

На Рис. 2 представлены основные этапы разрабатываемой методики.

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

Рис. 2. Этапы разработанной методики

В первую очередь, необходимо определить территории для проведения оценки их готовности к формированию портового ТЛК и обосновать свой выбор.

Далее, нужно взять фактор, имеющий наибольший вес. В данном случае, это фактор «Географическое положение».

Необходимо собрать информацию по выделенным показателям для каждой территории. Для первой группы факторов, было определено шесть показателей, из них три количественных и три опционных (да/нет) показателя. На основании собранной информации определяются веса для каждого из показателей с использованием формального метода коэффициента относительного разброса (Табл. 7). Коэффициент относительного разброса определяет максимально возможное отклонение и вычисляется по формуле:

$$P_j = \frac{a_j\,(max)+a_j\,(\min)}{a_j\,(max)}, \quad (3)$$

где a_j (max) и (min) – максимальное и минимальное значение по строке.

Наибольшее значение весовых коэффициентов получают показатели с наибольшим относительным разбросом в области оценок и вычисляется по формуле:

$$K_1 = \frac{P_{11}}{P_{11}+P_{21}}\ ;\ K_2 = \frac{P_{12}}{P_{12}+P_{22}}\ ;\ \ldots\ K_n = \frac{P_n}{P_n+P_m} \quad (4)$$

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

Таблица 7. Пример интегральной методики оценки территории для первого фактора

Показатель (i)	**Вес показателя**	**Объекты (j)**		
		Территория 1	**Территория 2**	**Территория 3**
Объем и виды обрабатываемых грузов, тыс.тонн;	K_j	a_{ij}-a_{11}	a_{12}	a_{13}
Близость расположения МТК, км;	K_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}
Наличие выхода к морским путям, да/нет;	K_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}
Наличие близлежащих или прилегающих свободных территорий, да/нет;	K_4	a_{41}	a_{42}	a_{43}
Климатические условия (рельеф, благоприятные погодные условия), да/нет;	K_5	a_{51}	a_{52}	a_{53}
Близость расположения мегаполиса, км	K_6	a_{61}	a_{62}	a_{63}

В таблице представлен вид, как должны быть представлены значения показателей, где a_{ij}- значение конкретного показателя для конкретной территории. Вес каждого показателя находится в диапазоне от 0 до 1.

Следующим этапом разрабатываемой методики является приведение количественных и бинарных показателей к единой системе измерения, используя метод интегральных оценок. Каждому показателю присваивается эталонное значение по строке (максимальное или минимальное, в зависимости от, показателя) Табл. 8. Получается столбец с «идеальными» значениями показателей. После чего, данные таблицы нужно привести к значению от 0 до 1 путём деления эталонного показателя на значение ячейки (реальное значение) или наоборот. Таким образом, значение показателей становится от 0 до 1, чем оно ближе к 1, тем ближе показатель к эталонному значению. Данное значение показывает, насколько далеко находится рассматриваемый показатель каждой конкретной территории от идеального: чем дальше от 1, тем хуже.

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

В случае бинарных значений для оценки первой группы факторов принимаем «да» равное 1, а «нет» равное 0 (для других факторов возможно применение оценки бинарных показателей как 0 для «да», а 1 для «нет» в случае, если отсутствие чего-то носит положительный характер).

Таблица 8. Максимальное/минимальное значение по строке (показателю) для первой группы факторов

Показатель (i)	**Вес показателя**	**Объекты (j)**			**Эталон, max/min a_{ij}**
		Территория 1	**Территория 2**	**Территория 3**	
Объем и виды обрабатываемых грузов, тыс.тонн	K_j	a_{ij}-a_{11}	a_{12}	a_{13}	max a_{ij}
Близость расположения МТК, км	K_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	min a_{ij}
Наличие выхода к морским путям, да/нет	K_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	1
Наличие близлежащих или прилегающих свободных территорий, да/нет	K_4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1
Климатические условия (рельеф, благоприятные погодные условия), да/нет	K_5	a_{51}	a_{52}	a_{53}	1
Близость расположения мегаполиса, км	K_6	a_{61}	a_{62}	a_{63}	min a_{ij}

Таким образом, были присвоены эталонные значения по строкам, которые отражают наилучшие значения показателей. В случае если эталонным признано *максимальное* значение по строке, то чтобы найти приведённый относительный показатель, необходимо разделить значение ячейки a_{ij} на эталонное значение, а если эталонным признано *минимальное* значение по строке, то его нужно поделить на значение ячейки a_{ij}.

Далее, необходимо найти ранг каждой территории (R_i), который рассчитывается по формуле интегрального показателя:

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

$$R_{\text{i}} = \sqrt{P_i(1-b_{1j})^2} + \ldots . + \sqrt{P_i(1-b_{ij})^2} ,$$

где P_i – весовой коэффициент i-ой строки;

b_{ij} – приведённый относительный показатель.

Чем выше R_i, тем выше ранг территории.

После ранжирования территорий, необходимо отсеять наименее подходяще. Для этого будем использовать принцип Парето «20 на 80», таким образом, на данном этапе оставляем 20 % территорий и переходим ко второму фактору, а именно, к «направленности региональной политики». Данный фактор включает в себя два показателя: наличие проектов или программ по развитию логистической системы в регионе и размер субсидий, выделяемых на транспортно-логистические объекты. Далее, ранжируем оставшиеся территории интегральным методом и просеиваем территории, оставив 20 % из них. После этого, переходим к третьему фактору и проделываем всё то же самое.

В конце должно остаться одна или ряд территорий, обладающих наилучшими показателями.

Далее, применяя метод геоинформационного моделирования в среде QGis, составляем карту территорий, наиболее готовых для формирования портового ТЛК.

Таким образом, в первой части работы был рассмотрен ряд методик и выделены наилучшие элементы для использования в разрабатываемой методике, например, выявление факторов и присваивание каждому фактору системы показателей было взято из методики О.А. Фрейдман, из работы О.Н. Рожко использовалась идея применения бинарных показателей и метод моделирования, методика А.С Койчубаева была полезна в аспекте измерения фактора «географическое положение» и «развитость существующей инфраструктуры» для измерения грузооборота и густоты путей сообщения, а последняя методика была использована с точки зрения градостроение в аспекте существующих норм и правил строительства.

Таким образом, на основании рассмотренных методик, представляющих наибольший интерес в рамках исследования, были выявлены критерии оценки готовности территории к формированию ПТЛК. С помощью применения системы интегральных показателей, которые позволяют проранжировать территории, складывается общий вывод по целесообразности формирования ПТЛК на определённой территории.

Received: 31.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 31.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методику целесообразно применять, когда есть несколько территорий, из которых нужно выделить наиболее перспективную (-ые) для формирования ТЛК. Ограничением является то, что значения некоторые показателей сложно найти в открытых источниках данных. В таком случае, целесообразно либо исключить данный показатель, либо сделать запрос в соответствующую службу порта.

Практическая значимость заключается в унифицированном сравнительном анализе интегральных показателей, полученных исчислением частных значений критерий-факторов, при этом интегрированные показатели удовлетворяет требованиям: количественного измерения. Достоинствами предложенной методики – простота исчисления, малозатратность, а также, что информационную базу составляют официальные данные статистики, что обеспечивает их доступность и сопоставимость.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Фрейдман О.А. Методы критериальной оценки логистического потенциала региона // Российское предпринимательство. – 2013. – Том 14. – № 3. – С. 127-130. [Freydman, OA. Methods of Criteria Assessment of Region Logistic Potential. *Rossiyskoe predprinimatelstvo.* 2013;14*(3)*, 127-130. (In Russ.)].

2. Носов А.Л. Методология управления развитием инфраструктуры региональной логистики: диссертация доктора экон. наук: 08.00.05. – СПб: Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет. Санкт-Петербург, 2007. – 310 с. [Nosov AL. Metodologiya upravleniya razvitiyem infrastruktury regional'noy logistiki: dissertatsiya doktora ekon. nauk: 08.00.05 [dissertation]. St. Petersburg; 2007. – 310p. (In Russ.)].

3. Mou N, Wang C, Yang T, Zhang L. Evaluation of Development Potential of Ports in the Yangtze River Delta Using FAHP-Entropy Model. *Sustainability*. 2020;12(2):493. doi:10.3390/su12020493

4. Койчубаев А.С. Научно-прикладные аспекты развития регио-нальной логистической системы (на примере Республики Казахстан) // Вестник СамГЭУ. – 2013. – № 10(108). – С. 118–124. [Koychubayev AS. Nauchno-prikladnyye aspekty razvitiya regio-nal'noy logisticheskoy sistemy (na primere Respubliki Kazakhstan). *Vestnik SamGEU,* 2013;10(108):118-124. (In Russ.)].

5. Рожко, О.Н., Шихалёв А.М. Оценка вариантов размещения логистических объектов на территории региона методом многокритериальной оптимизации (на примере Республики Татарстан) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10. – № 6. – С. 153–169. [Rozhko ON, Shikhalev AM. Assessment of Options for Logistics Objects in the

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Region Using Multi-Criteria Optimization (Case Study of the Republic of Tatarstan). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2017;10(6):153-169. (In Russ.)]. doi:10.15838/esc.2017.6.54.10

6. Кашбразиев Р.В. Российский регион в системе глобального кооперационного взаимодействия: монография // "ФЭН" Академии наук РТ. – 2011. – С. 191. [Kashbraziyev RV. Rossiyskiy region v sisteme global'nogo kooperatsionnogo vzaimodeystviya: monografiya. *"FEN" Akademii nauk RT* , 2011;191. (In Russ.)].
7. Прокофьева Т.А., Санюк Т.В. Стратегическая доктрина формирования на территории Брянской области в зоне тяготения к МТК № 2 «Запад – Восток» Западной логистической платформы Центрального федерального округа. // Конъюнктура товарных рынков. Маркетинг и логистика – 2007. – № 4. – С. 64 – 87. [Prokof'yeva TA, Sanyuk TV. Strategicheskaya doktrina formirovaniya na territorii Bryanskoy oblasti v zone tyagoteniya k MTK № 2 «Zapad – Vostok» Zapadnoy logisticheskoy platformy Tsentral'nogo federal'nogo okruga. *Kon"yunktura tovarnykh rynkov. Marketing i logistika, 2*007;4:64-87. (In Russ.)].
8. Фрейдман О.А. Анализ логистического потенциала региона: диссертация доктора экон. наук: Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2013. – С. 164 ISBN 978-5-98710-227-5 [Freydman O.A. Analiz logisticheskogo potentsiala regiona – Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, [dissertation]. Irkutsk; 2013. – 164p. (In Russ.)].
9. Яковлев М.А. Особенности архитектурно-планировочного формирования складских зданий и комплексов: диссертация доктора экон. наук: Нижний Новгород: Новгородский государственный университет, 2018. – С. 154-167. [Yakovlev MA. Osobennosti arkhitekturno-planirovochnogo formirovaniya skladskikh zdaniy i kompleksov: [dissertation]. Nizhniy Novgorod; 2018;154-164 (In Russ.)].
10. Белоусова Н.С. Функционально-организационные характеристики транспортно-логистических комплексов и их элементов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 2. – С. 36-43 [Belousova N.S. Funktsional'no-organizatsionnyye kharakteristiki transportno-logisticheskikh kompleksov i ikh elementov. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta,* 2007;(2):36-43. (In Russ.)].
11. Методы определения весовых коэффициентов. [Metody opredeleniya vesovykh koeffitsiyentov. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 09.05.2021. Доступно по: https://gigabaza.ru/doc/31750.html.
12. Методы определения весовых коэффициентов. [Metody opredeleniya vesovykh koeffitsiyentov. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://studfile.net/preview/1518472/page:3/. Ссылка активна на 09.05.2021.
13. Критериальные методы. [Kriterialny metody. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://studme.org/1112061812699/menedzhment/kriterialnye_metody. Ссылка активна на 09.05.2021.
14. Абекова Ж.А., Оралбаев А.Б., Бердалиева М., Избасарова Ж.К. Технология критериального оценивания, методика ее применения в учебном процессе // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 2-2. – С. 215-218 [Abekova ZA, Oralbayev AB, Berdaliyeva M, Izbasarova ZK Tekhnologiya kriterial'nogo otsenivaniya, metodika yeye primeneniya v uchebnom protsesse. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2016;(2-2):215-218p. (In Russ.)].

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

15. Метод относительного разброса. [Metod otnositelnogo razbrosa. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.ngpedia.ru/id359740p1.html. Ссылка активна на 09.05.2021.

Сведения об авторах:
Манова Вероника Алексеевна, магистрант;
eLibrary SPIN: 9844-1017 ORCID: 0000-0001-9321-916;
E-mail: veronikamanova16@gmail.com, veronika-manova@yandex.ru
Лебедева Анна Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 6190-5965; Scopus ID: 57195325759
E-mail: aslebedeva@itmo.ru
Новинюк Олеся Николаевна, магистрант;
eLibrary SPIN: 9844-1017; ORCID: 0000-0003-4544-4898;
E-mail: plakca13@yandex.ru
Сыропятов Владимир Валерьевич, магистрант;
eLibrary SPIN: 4714-8762 ORCID: 0000-0001-6009-2603
E-mail: Vladimir.Syropyatov@ahlers.com

Information about the authors:
Veronika A. Manova, Master degree;
eLibrary SPIN: 9844-1017; ORCID: 0000-0001-9321-9164;
E-mail: veronika-manova@yandex.ru
Anna S. Lebedeva, PhD, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 6190-5965; Scopus ID: 57195325759;
E-mail: aslebedeva@itmo.ru
Noviniuk N. Olesya, Master degree, Faculty of Technology Management and Innovation;
eLibrary SPIN: 9844-1017; ORCID: 0000-0003-4544-4898;
E-mail: plakca13@yandex.ru
Vladimir V. Syropyatov, Master degree, Faculty of Economics;
eLibrary SPIN: 4714-8762 ORCID: 0000-0001-6009-2603
E-mail: Vladimir.Syropyatov@ahlers.com

Цитировать:
Манова В.А., Лебедева А.С., Новинюк О.Н., Сыропятов В.В. Методика оценки готовности территорий к формированию инфраструктуры инновационного портового транспортно-логистического комплекса // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 55–75. doi: 10.17816/transsyst20217255-75

To cite this article:
Manova VA, Lebedeva AS, Noviniuk ON, Syropyatov VV. Methodology for assessing the readiness of territories for the formation of the infrastructure of the innovative port logistics complex. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):55-75. doi: 10.17816/transsyst20217255-75

Received: 31.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 31.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ
Направление – Транспортные и транспортно-логистические системы

УДК [UDC] 656.073
DOI 10.17816/transsyst20217276-86

© Г.В. Гогричиани[1], А.Н. Ляшенко[2].
[1]АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»
[2] Министерство экономического развития Российской Федерации
(Москва, Россия)

ВЫБОР ЛУЧШИХ РЕШЕНИЙ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ НЕФТИ

Обоснование: Для организации мультимодальных перевозок и выбора лучшего варианта маршрута по доставке топлива необходимо разработать алгоритм выбора лучшего решения из рассматриваемых. Об этом указывается в Стратегии научно-технологического развития Холдинга ОАО «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу 2030 года («Белая книга», где на стр. 25–26 говорится о необходимости разработки новых транспортно-логистических продуктов и услугах в глобальных транспортных цепочках в развитии мультимодальных перевозок и о необходимости разработки и организации новых мультимодальных грузовых перевозок). Федеральные железнодорожные администрации США стр. 127 «Белой книги», указывает на необходимость совершенствования методологии комплексного мультимодального транспортного планирования на глобальном, национальном и региональном уровнях, повышение востребованности транспортно-логистических услуг, переходу к управлению цепочками поставок.

Цель: разработка метода многокритериальной рационализации выбора маршрутов мультимодальных перевозок с возможностью рассмотрения гипотетических вариантов.

Материалы и методы: фундаментальные труды ведущих ученых в сфере повышения эффективности производства в соответствии с потребностями экономики в перевозках А.В. Анненкова, П.Б. Романова. В области обоснования решений по грузовым терминалам, определения объёмов резервуарных парков с возможностью их расширения О.Б. Маликова, В.Н. Сапронова. Применение многокритериальной рационализации путём сверки рассматриваемых критериев приведено в работе А.Т. Осьминина, в которой разработан научно-обоснованный метод, ориентированный на создание аналитико-управляющих систем. В области анализа и оценки рисков работы А.Г. Котенко. В сфере улучшения оптимизации нефтеперевалочного комплекса изучены труды А.Ю. Ахриева, А.Б. Егорова, А.А. Калушина, В.Н. Мирушкина, Э.В. Пасюнина, А.В. Савельева, а в сегменте логистизации речных и морских нефтеперевозок работы М.А. Назарова, О.М. Сергеевой.

Результаты: повышение качества решений задач при транспортировке жидкого топлива по видам транспорта в мультимодальном сообщении на основе использования разработанного метода. Множество рассматриваемых критериев в методе позволяет ставить и решать транспортные задачи практически без ограничений сложности, что в каждом конкретном случае позволяет получать более качественные результаты.

Заключение: Использование метода на практике позволяет не только объективно находить лучшее решение из рассматриваемых, но и изучать

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

гипотетические схемы транспортировок с возможным строительством новых путей и их элементов и сравнивать имеющиеся и новые схемы по комплексам критериев, в том числе затратам на строительство и временем окупаемости новых путей, и в итоге находить лучшее решение поставленной задачи.

Ключевые слова: мультимолдальная перевозка, доставка нефти, логистика, рациональный маршрут, комплекс критериев.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS
Field – Transport and Transport & Logistics Systems

© G.V. Gogrichiani[1], A.N. Lyashenko[2].
[1]Railway Research Institute of JSC Russian Railways
[2]Ministry of Economic Development of the Russian Federation
(Moscow, Russia)

CHOOSING THE BEST SOLUTIONS FOR MULTIMODAL OIL TRANSPORTATION

Background: to organize multimodal transportation and choose the best route option for fuel delivery, it is necessary to develop an algorithm for choosing the best solution from the considered ones. This is indicated in the Strategy of scientific and Technological Development of the Russian Railways Holding Company for the period up to 2025 and for the future of 2030 ("White Paper", where on pages 25-26 it is said about the need to develop new transport and logistics products and services in global transport chains in the development of multimodal transport and the need to develop and organize new multimodal freight transport). Federal Railway Administrations of the United States, page 127 of the White Paper, points to the need to improve the methodology of integrated multimodal transport planning at the global, national and regional levels, increase the demand for transport and logistics services, and transition to supply chain management.

Aim: to develop a method for multi-criteria rationalization of the choice of multimodal transport routes with the possibility of considering hypothetical options.

Materials and Methods: the fundamental works of leading scientists in the field of improving the efficiency of production in accordance with the needs of the economy in transportation A.V. Annenkov, P.B. Romanova were used. In the field of justification of decisions on cargo terminals, determining the volume of tank farms with the possibility of their expansion O.B. Malikov, V.N. Sapronov. The application of multi-criteria rationalization by comparing the criteria under consideration is given in the work of A.T. Osminin, which developed a scientifically based method aimed at creating analytical and control systems. In the field of risk analysis and assessment of the work of A.G. Kotenko. The works of A.Y. Akhriev, A.B. Egorov, A.A. Kalushin, V.N. Mirushkin, E.V. Pasyunin, and A.V. Savelyev were studied in the field of improving the optimization of the oil transshipment complex, and the works of M.A. Nazarov and O.M. Sergeeva in the segment of logistics of river and sea oil transportation.

Results: it consists in improving the quality of solutions to problems in the transportation of liquid fuel by means of transport in multimodal communication based on the use of the developed method. The set of criteria considered in the method allows you to set and solve transport problems with almost no restrictions on complexity, which in each case allows you to get better results.

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Conclusion: Using the method in practice allows not only to objectively find the best solution from the considered ones, but also to study hypothetical transportation schemes with the possible construction of new tracks and their elements, and compare existing and new schemes by a set of criteria, including construction costs and payback time of new tracks, and as a result find the best solution to the task.

Key words: multimodal transportation, oil delivery, logistics, rational route, set of criteria.

ВВЕДЕНИЕ

Мультимодальная перевозка представляет собой систему, рациональность и стабильность процесса которой во многом зависит от множества условий и особенностей внешней среды. Одной из особенностей внешней среды является несогласованность взаимодействия различных видов транспорта, что, в свою очередь, оказывает влияние на эффективность процесса перевозки. Совокупность принятых в работе критериев перевозки позволяет реагировать на изменение дестабилизирующих внешних и внутренних факторов процесса. Количество критериев может меняться в силу индивидуальности логистического полигона, однако при этом остаётся неизмененным алгоритм применяемого метода, выступающий в роли механизма для достижения поставленных целей грузовладельцем и обеспечения максимально возможного уровня удовлетворения предъявляемых требований к транспортировке.

ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Анализ путей управления мультимодальными процессами перевозок требует комплексного исследования множества факторов, которые могут оказать влияние на процесс доставки груза от «двери до двери». Один из основных инструментариев управления – системный подход, нацеленный на анализ критериев в конкретной транспортной задаче и, тем самым, оказывающий влияние на повышение качества в управлении.

Противоречивость критериев в настоящей проблеме рассматривается в рамках решаемых индивидуальных задач при оценке каждой логистической комбинации, альтернативного элемента математической матрицы, находящихся в различных отношениях взаимозависимости. При многообразии на практике рассматриваемых альтернативных вариантов транспортировки делается выбор на самом рациональном из них. При этом учитываются приоритеты грузовладельца, которые могут быть

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

ранжированы по различным требованиям, куда входят финансовые, временные или иные составляющие и, тем самым, в конечном итоге обработки информации сделать выбор варианта. Данные о значениях и значимости критериев предлагаются при решении задачи профильными специалистами исходя из приоритетной цели, стоящей перед транспортным оператором – минимизация логистических издержек. Настоящий подход определяет наличие взаимосвязанности процесса, свидетельствуя о единой цели. В работе принят перечень критериев для выбора лучшего варианта транспортировки. При выборе критериев в настоящей работе большое внимание уделено запросам заказчиков, предпочтениям, анализу тенденций изменения приоритетов и, тем самым, формированию самих критериев.

С учётом тенденций диверсификации нефтяной отрасли, переориентации логистических маршрутов, возрастающих потребностей заказчика груза на фоне экономических и других отношений, рынка, необходимо рационализировать транспортные издержки на 1 километр пути и 1 тонну груза с учётом координации участников логистического процесса по принципу выполнения требования «точно в срок». При рассмотрении критериев доставки груза по альтернативным маршрутам нужно детализировать конкурентные варианты. Детальный учёт составляющих звеньев транспортных цепей является важным условием, обеспечивающим результат целостного процесса логистически-ориентированной деятельности.

Отметим, что мультимодальная логистическая система представляет собой комплекс совокупных оперативных транспортных услуг, при этом любая система – совокупность взаимосвязанных элементов. В работе в качестве критериев функционирования логистической системы выбран ряд определяющих критериев, имеющих разную размерность, который направлен на рационализацию общих логистических издержек и повышение качества управления процессами перевозок. Решение практических задач на базе применяемого алгоритма рассмотрения отдельных звеньев каждой транспортной цепи и цепи в совокупности предлагает доставку груза в требуемые сроки, а также определяет вариант с учётом минимизации принятых рисков. Ввод критериев, нацеленных на повышение качества перевозки или иных важных требований зависит от реально складывающихся условий в каждой конкретной задаче.

Нужно обратить внимание на то, что критерии, по которым выбираются лучшие решения транспортировок могут меняться при решении разных задач в зависимости от поставленных целей. Это видно и в настоящей проблеме при решении круга задач по выбору рациональных мест расположения терминалов и распределении их объёмов при заданной общей массе жидкого топлива. В области обоснования решений по

Received: 28.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 28.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

определению объёмов резервуарных парков с возможностью их расширения нужно отметить диссертацию [1]. Важно, что при решении этих задач, примыкающих к проблемам выбора лучших транспортных путей перевозок, используется тот же алгоритм решения, несмотря на другие критерии сравнений при выборе лучшего решения из возможных. Делая промежуточный вывод можно сказать, что выбор критериев является очень важной постановочной задачей и от них напрямую зависит полученный в итоге результат. Цель настоящей работы состоит в создании регулярного (не изменяющегося при решении разных задач) математического аппарата, служащего для детерминированной обработки цифровых значений назначенных критериев с учётом их значимости между собой в разных задачах управления перевозочными процессами и элементами этих процессов для выбора лучших вариантов из рассматриваемых.

Количество и назначение критериев определяется (в общем случае) для каждой задачи отдельно:

а) k_1 – стоимость непосредственно доставки, руб.;

б) k_2 – затраты времени непосредственно доставки, час;

в) k_3 – стоимость погрузки (в каждом пункте перевалки топлива), руб.;

г) k_4 – время погрузки (в каждом пункте перевалки топлива), час;

д) k_5 – стоимость разгрузки (в каждом пункте перевалки топлива), руб.;

е) k_6 – время разгрузки (в каждом пункте перевалки топлива), час;

ё) k_7 – стоимость хранения в соответствующих терминалах конкретной массы груза во времени отдельно по стыкам видов транспорта, руб.;

ж) k_8 – риск по доставке топлива в договорное время, балл;

з) k_9 – риск при перевозке топлива конкретным видом транспорта, балл;

и) k_{10} – риск при перевалке топлива с одного вида транспорта на другой, балл;

В качестве критериев модели ресурсоёмкости резервуарного парка нефтяного терминала приняты следующие [2]:

к) k_{11} – объём терминала, $м^3$;

л) k_{12} – затраты на строительство, тыс. руб.;

м) k_{13} – время монтажных работ, сутки;

н) k_{14} – затраты на обслуживание при будущей эксплуатации терминала, тыс. руб./год;

о) k_{15} – затраты на будущий ремонт резервуаров, тыс. руб./год;

п) k_{16} – экономические потери при простое терминала на ремонте, тыс. руб./год;

р) k_{17} – риски, связанные с финансовыми потерями при эксплуатации терминала, балл.

Вышеуказанные критерии в подавляющем большинстве случаев позволяют охватить широкий спектр задач и найти лучший вариант

Received: 28.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 28.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

доставки жидкого топлива его владельцу. Кроме этого владельцам транспортных средств предоставляется возможность оперативного и точного расчёта преимуществ новых (планируемых) путей сообщения, в том числе в совокупности с имеющимися, при строительстве объектов новой транспортной инфраструктуры.

Под критериями риска (пункты ж, з, и) при перевозке и перевалке топлива с одного вида транспорта на другой понимаются возможные сбои процессов по неучтённым или форс-мажорным обстоятельствам, влияющим на сохранность груза и изменение времени перевозки. В области анализа и оценки рисков большое значение имеет научный труд [3]. Логистика нефтяных маршрутов, совершенствование управления транспортными услугами с учётом рисков отражено в трудах зарубежных авторов [4–8].

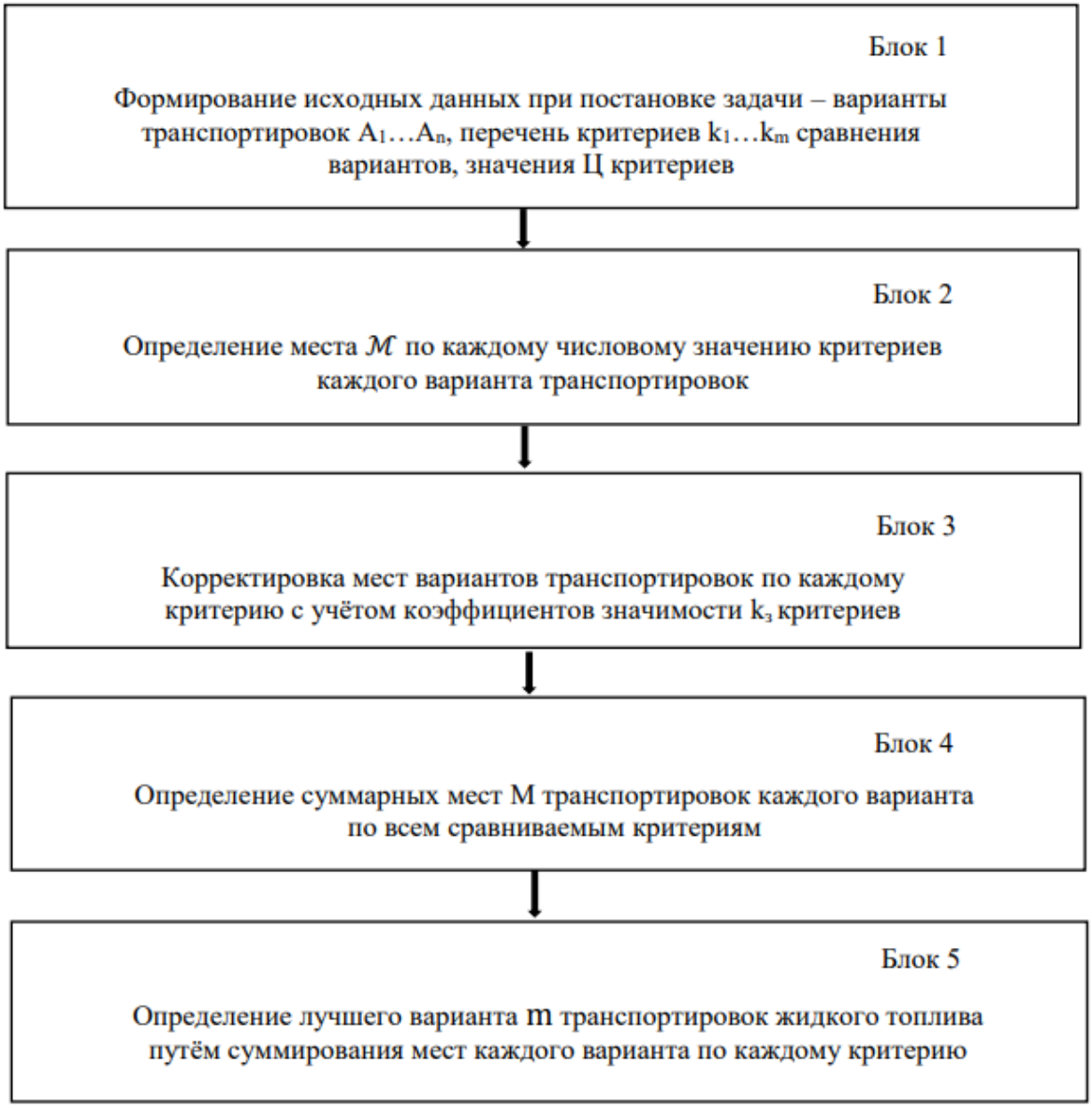


Рис. Блок-схема последовательности решения поставленной задачи

Received: 28.05.2021 Revised: 14.06.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 28.05.2021 Одобрена: 14.06.2021 Принята: 30.06.2021

Центральная задача алгоритма решения поставленной задачи для определения лучшего варианта из рассматриваемых состоит в направленном преобразовании исходной информации по рассматриваемым вариантам (имеются в виду критерии сравнения) и сведение ее к одному комплексному критерию сравнения, который и рассматривается для всех сравниваемых вариантов. Алгоритм преобразования информации к этому критерию не зависит от числа критериев сравнения.

На Рис. приведена блок-схема последовательности решения задачи. Она состоит из пяти центральных позиций, которые отражают последовательность процедур в получении лучшего результата решения по сформированным исходным данным.

Из блок-схемы видно, что для получения окончательного результата сравнения последовательно решается ряд задач, а именно:

Блок 1 – формируется исходные данные Ц по всем критериям и по всем сравниваемым вариантам (Табл. 1);

Блок 2 – определяются места $\mathcal{M}$ каждого варианта по числовому значению каждого критерия. При этом место $\mathcal{M}$ тем выше (лучше для перевозочного процесса), чем больше числовое значение Ц соответствующего критерия. Данные размещены в Табл. 2.

Блок 3 – корректируются места $\mathcal{M}$ по коэффициентам $k_з$ значимости критериев ($M= \mathcal{M} k_з$). Количество $k_з$ совпадает с числом критериев. Данные размещены в Табл. 3. В частном случае значения $k_з$ могут совпадать.

Блок 4 – определяются суммарные места m по каждому варианту, т.е $m = \sum M_{1\ldots m}$.

Блок 5 – определяется лучший вариант сравнения, характеризующийся большим значением m (т.е. большая сумма лучших мест).

Таблица 1. Фактические значения критериев по вариантам A_1, …, A_n

Критерии	**Варианты**				
	$\mathbf{A_1}$	$\mathbf{A_2}$	…	$\mathbf{A_{n-1}}$	$\mathbf{A_n}$
k_1	$Ц_{k1}^{A1}$	$Ц_{k1}^{A2}$	…	$Ц_{k1}^{A(n-1)}$	$Ц_{k1}^{An}$
k_2	$Ц_{k2}^{A1}$	$Ц_{k2}^{A2}$	…	$Ц_{k2}^{A(n-1)}$	$Ц_{k2}^{An}$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
k_{m-1}	$Ц_{k(m-1)}^{A1}$	$Ц_{k(m-1)}^{A2}$	…	$Ц_{k(m-1)}^{A(n-1)}$	$Ц_{k(m-1)}^{An}$
k_m	$Ц_{km}^{A1}$	$Ц_{km}^{A2}$	…	$Ц_{km}^{A(n-1)}$	$Ц_{km}^{An}$

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Таблица 2. Места «$\mathcal{M}$» вариантов A_1, …, A_n по цифровым значениям критериев

Критерии	**Варианты**				
	$\mathbf{A_1}$	$\mathbf{A_2}$	**…**	$\mathbf{A_{n-1}}$	$\mathbf{A_n}$
k_1	$\mathcal{M}_{k1}^{A1}$	$\mathcal{M}_{k1}^{A2}$	…	$\mathcal{M}_{k1}^{A(n-1)}$	$\mathcal{M}_{k1}^{An}$
k_2	$\mathcal{M}_{k2}^{A1}$	$\mathcal{M}_{k2}^{A2}$	…	$\mathcal{M}_{k2}^{A(n-1)}$	$\mathcal{M}_{k2}^{An}$
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
k_{m-1}	$\mathcal{M}_{k(m-1)}^{A1}$	$\mathcal{M}_{k(m-1)}^{A2}$	…	$\mathcal{M}_{k(m-1)}^{A(n-1)}$	$\mathcal{M}_{k(m-1)}^{An}$
k_m	$\mathcal{M}_{km}^{A1}$	$\mathcal{M}_{km}^{A2}$	…	$\mathcal{M}_{km}^{A(n-1)}$	$\mathcal{M}_{km}^{An}$

Таблица 3. Места «M» вариантов A_1, …, A_n по значениям критериев с учётом коэффициентов значимости критериев

Критерии	**Варианты**				
	$\mathbf{A_1}$	$\mathbf{A_2}$	**…**	$\mathbf{A_{n-1}}$	$\mathbf{A_n}$
k_1	M_{k1}^{A1}	M_{k1}^{A2}	…	$M_{k1}^{A(n-1)}$	M_{k1}^{An}
k_2	M_{k2}^{A1}	M_{k2}^{A2}	…	$M_{k2}^{A(n-1)}$	M_{k1}^{An}
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
k_{m-1}	$M_{k(m-1)}^{A1}$	$M_{k(m-1)}^{A2}$	…	$M_{k(m-1)}^{A(n-1)}$	$M_{k(m-1)}^{An}$
k_m	M_{km}^{A1}	M_{km}^{A2}	…	$M_{km}^{A(n-1)}$	M_{km}^{An}

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Таким образом, после определения мест «М» вариантов A_1, …, A_n с учётом коэффициентов значимости $k_з$ по конкретным критериям k_1, …, k_m определяется лучший вариант из рассматриваемых. Для этого M_{k1}^{A1}, … , M_{km}^{An} складываются по вертикали в каждом варианте сравнения отдельно. В результате получаем значения m_1, …, m_n, где для варианта A_1 $m_1 = \sum M_{k(1, \ldots, m)}^{A1}$, для варианта A_2 $m_2 = \sum M_{k(1, \ldots, m)}^{A2}$, …, A_n $m_n = \sum M_{k(1, \ldots, m)}^{An}$.

При сравнении значений m_1, …, m_n, по большему значению определяется лучший вариант A_1, …, A_n с учётом коэффициентов значимости $k_з$.

Согласно настоящему подходу проведён расчёт на логистических полигонах Государства Палестина, Сирийской Арабской Республики. Настоящая работа является продолжением фундаментальных трудов ведущих учёных в сфере повышения эффективности производства в соответствии с задачами экономики в перевозках [9, 10]. Применение многокритериальной рационализации перевозок путём сравнения рассматриваемых критериев приведено в работе [11], в которой разработан научно-обоснованный метод, ориентированный на создание аналитико-управляющих систем. По проблеме улучшения функционирования нефтеперевалочных комплексов известны фундаментальные труды [12–14], а в сегменте логистики речных и морских нефтеперевозок работа [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На предприятиях топливно-энергетического комплекса при перевозке жидкого топлива в мультимодальном сообщении часто ставится задача о выборе рационального по многим критериям маршрута из круга рассматриваемых. Для решения этой сложной задачи в работе предложен способ обработки информации, необходимой для решения задачи, составляющий основу метода и позволяющий при анализе возможных вариантов транспортировок находить лучшее решение без ограничения количества этих транспортировок и числа рассматриваемых критериев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Сапронов В.Н. Планирование и оптимизация загрузки нефтеналивных терминалов: дис.…канд. эконом. наук. – СПб; 2013. – 150 с. [Sapronov VN. Planning and optimization of loading terminals [dissertation]. St. Petersburg; 2013. 150 p. (In Russ.)].
2. Ляшенко А.Н. Выбор схемы резервуарного парка нефтяного терминала по множеству критериев// Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 84–93. [Lyashenko AN. Selection of the oil terminal tank farm scheme by a set of criteria. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(1):84-93. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2018041084-093.

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

3. Котенко А.Г. Методология риск-ориентированного планирования качественных показателей эксплуатационной работы железных дорог: дис.…д-ра. техн. наук. – СПб.; 2000. – 260 с. [Kotenko AG. Methodology of risk-based planning of quality indicators of railway operational work [dissertation]. Samara, 2000. 260 p. (In Russ.)].
4. Aven T. Misconceptions of risk. John Wiley and sons Inc., 2010. 248 p.
5. Aven T. Risk analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. John Wiley and Sons Inc., April 2008. 204 p.
6. Aven T, Vinnem JE. Risk management: With application from the offshore petroleum industry. – Springer, 2007. 211p.
7. Beaumont E.A., Forester N.H. Exploring for oil and gas trap. The American Association of Petroleum Geologists, 1999. pp. 1-100.
8. Shapiro JF. Modeling the Supply Chain. Thomson Learning, 2001. 586 p.
9. Анненков А.В. Оптимизация перевозок нефтеналивных грузов на железнодорожном транспорте : дисс. … канд. техн. наук: Москва, 1998. – 161 с. [Annenkov AV. Optimization of oil cargo transportation on railway transport [dissertation]. Moscow, 1998. 161 p. (In Russ.)].
10. Романова П.Б. Повышение эффективности вывоза цистерн с наливных станций : дис. … канд. техн. наук : – Москва, 2004. – 218 с. [Romanova PB. Improving the efficiency of export of tanks from filling stations [dissertation]. Moscow, 2004. 218 p. (In Russ.)].
11. Осьминин А.Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации: дис.…д-ра. техн. наук. – Самара; 2000. – 260 с. [Osminin AT. Rational organization of car traffic on the basis of multi-criteria optimization methods [dissertation]. Samara; 2000. 260 p. (In Russ.)].
12. Ахриев А.Ю. Логистические резервы повышения качества нефтепродуктообеспечения: дис.…канд. эконом. наук. – Москва; 2005. – 167 с. [Ahriev AY. Logistics reserves for improving the quality of oil products supply [dissertation]. Moscow; 2005. 167 p. (In Russ.)].
13. Егоров А.Б. Инновационные подходы к оптимизации перевозки нефти и нефтепродуктов в смешанных сообщениях: дис.…канд. эконом. наук. – Москва; 2005. – 160 с. [Yegorov AB. Innovative approaches to optimizing the transportation of oil and petroleum products in mixed messages [dissertation]. Moscow; 2005. 160 p. (In Russ.)].
14. Мирушкин В.Н. Резервы эффективного развития нефтеперерабатывающих предприятий: дис.…д-ра. эконом. наук. – Саратов; 2005. – 457 с. [Mirushkin VN. Reserves of effective development of oil refining enterprises: [dissertation]. Saratov; 2005. 457 p. (In Russ.)].
15. Назаров М.А. Логистическое обеспечение эффективности речных нефтеперевозок: дис.…канд. эконом. наук. – Самара; 2001. – 146 с. [Nazarov MA. Logistics support for the efficiency of river oil transportation: [dissertation]. Samara; 2001. 146 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:
Гогричиани Георгий Венедиктович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary AuthorID: 762111; ScopusID 6506408649;
E-mail: info@vniizht.ru
Ляшенко Антон Николаевич, ведущий консультант;
eLibrary SPIN: 4607-2567; ORCID: 0000-0003-4609-5554;
E-mail: an-lyashenko@yandex.ru

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Information about the authors:
Georgy Gogrichiani, doctor of engineering;
eLibrary AuthorID: 762111; ScopusID 6506408649;
E-mail: info@vniizht.ru
Anton Lyashenko;
eLibrary SPIN: 4607-2567; ORCID: 0000-0003-4609-5554;
E-mail: an-lyashenko@yandex.ru

Цитировать:
Гогричиани Г.А., Ляшенко А.Н. Выбора лучших решений при мультимодальных перевозках нефти // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 76–86. doi: 10.17816/transsyst20217276-86

To cite this article:
Gogrichiani GV, Lyashenko AN. Choosing the best solutions for multimodal oil transportation. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):76-86. doi: 10.17816/transsyst20207276-86

Received: 28.05.2021 **Revised: 14.06.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 28.05.2021 **Одобрена: 14.06.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.313.333
DOI 10.17816/transsyst20217287-96

© В. А. Соломин, А. В. Соломин, А. А. Чехова
Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

ПУСКОВЫЕ УСИЛИЯ ТЯГОВОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ СИПРОТИВЛЕНИЕМ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Обоснование: Разработка и исследование линейных тяговых приводов для магнитолевитационного транспорта является актуальной задачей. Линейные асинхронные двигатели могут использоваться в качестве тяговых машин для перспективного подвижного состава.

Цель: Исследование пусковых характеристик регулируемого тягового линейного асинхронного двигателя с изменяемым сопротивлением короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента.

Методы: Теоретическим путем получены соотношения для расчета тяговых пусковых усилий регулируемого линейного асинхронного двигателя с различными конструкциями короткозамкнутой обмотки вторичного элемента.

Результаты: На основании полученных соотношений выполнены расчеты пусковых тяговых усилий линейных асинхронных двигателей, предназначенных для использования на перспективных видах транспорта.

Заключение: Результаты расчета пусковых тяговых усилий регулируемых линейных асинхронных двигателей позволяют обоснованно выбирать режимы включения двигателя в зависимости от конструкции обмотки вторичного элемента.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, регулируемый линейный асинхронный двигатель, пусковые тяговые усилия, вытемнение тока в пазу.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© V. A. Solomin, A. V. Solomin, A. A. Chekhov
Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

STARTING FORCES OF THE TRACTION LINEAR INDUCTION MOTOR WITH ADJUSTABLE RESISTANCE OF THE SHORT-CIRCUITED WINDING OF THE SECONDARY ELEMENT

Received: 08.02.2021 **Revised: 23.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 08.02.2021 **Одобрена: 23.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Background: Development and research of linear traction drives for Maglev transport is an urgent task. Linear induction motors can be used as traction machines for advanced rolling stock.

Aim: Study of the starting characteristics of an adjustable traction linear induction motor with variable resistance by a short-circuited winding of the secondary element.

Methods: Theoretically, relations were obtained for calculating the traction starting forces of an adjustable linear induction motor with various designs of a short-circuited winding of the secondary element.

Results: Based on the obtained ratios, the calculations of the starting traction forces of linear induction motors intended for use in promising modes of transport were performed.

Conclusion: The results of calculating the starting traction forces of adjustable linear induction motors make it possible to reasonably select the modes of starting the motor depending on the design of the secondary winding.

Keywords: magneyic-levitation transport, adjustable linear induction motor, starting tractive forces, current extraction in the slot.

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование транспортных коммуникаций имеет большое значение для развития современного общества. Свою заметную роль в этой области играют принципиально новые виды транспорта, способные перемещать на большие расстояния с высокими скоростями людей и различные грузы. Магнитолевитационный транспорт (МЛТ) развивает скорости бесконтактного с путевой структурой движения экипажей в диапазоне 350-500 км/ч. Скорости движения свыше 1000 км/ч могут быть достигнуты при использовании вакуумного магнитолевитационного транспорта (ВМЛТ). В качестве приводных электрических машин систем МЛТ и ВМЛТ используются линейные тяговые двигатели, преобразующие электроэнергию непосредственно в поступательное перемещение. Линейные тяговые двигатели для магнитолевитационного транспорта и ВМЛТ бывают синхронными и асинхронными. На нынешнем этапе развития техники и технологий многие инженеры и ученые полагают, что линейные асинхронные двигатели (ЛАД) имеют хорошие перспективы для МЛТ и ВМЛТ, так как системы торможения высокоскоростных поездов оказываются более эффективными. Одним из достоинств тяговых ЛАД является простота их включения (пуска в ход) по сравнению с линейными синхронными двигателями. Новый вид линейных асинхронных двигателей с регулируемыми сопротивлениями короткозамкнутых обмоток их вторичных элементов (ВЭ) обеспечивает повышение пусковых и регулировочных свойств, при применении их на высокоскоростных видах транспорта. Представленная работа посвящена рассмотрению особенностей пуска в ход тягового ЛАД с регулируемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента.

Received: 08.02.2021 **Revised: 23.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 08.02.2021 **Одобрена: 23.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

ПУСКОВЫЕ УСИЛИЯ ТЯГОВОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Пусковые характеристики асинхронных двигателей с короткозамкнутыми обмотками роторов достаточно подробно описаны в [1–3]. Тяговые и промышленные приводы с линейными асинхронными двигателями исследованы в [4–14], в которых изложены вопросы теории и расчета ЛАД, в том числе рассмотрены вопросы пуска в ход и регулирования скорости. Линейные асинхронные двигатели с изменяемыми сопротивлениями короткозамкнутых обмоток [10] позволяют регулировать пусковые тяговые усилия в широком диапазоне. Последнее обстоятельство делает данные электродвигатели предпочтительными для высокоскоростного транспорта.

Соотношения для расчета механических усилий, в том числе и пусковых асинхронных двигателей с короткозамкнутыми обмотками роторов приведены в [1–3]. На их основе после ряда преобразований получено выражение для расчета тягового усилия регулируемого ЛАД с короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента

$$F_T = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{2\tau f[(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2]}, \quad (1)$$

где m_1 – число фаз индуктора;

τ – полюсное деление ЛАД;

U_1 – фазное напряжение индуктора;

f – частота тока;

r_1 – активное сопротивление фазы обмотки индуктора;

м – индуктивное сопротивление фазы обмотки индуктора;

r_2' – приведенное активное сопротивление вторичного элемента;

x_2' – приведенное индуктивное сопротивление обмотки вторичного элемента;

s – скольжение

Следует заметить, что (1) не учитывает влияние продольного краевого эффекта. Влияние продольного краевого эффекта при расчете рабочих и электромеханических характеристик регулируемого линейного асинхронного двигателя с изменяемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента может быть учтено отдельно.

В пусковом режиме (в первый момент) скорость движения равна нулю и скольжение s=1.

В момент пуска выражение (1) принимает вид

Received: 08.02.2021 Revised: 23.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 08.02.2021 Одобрена: 23.03.2021 Принята: 30.06.2021

$$F_{Tпуск} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2^{'}}{2\tau f[(r_1 + r_2^{'})^2 + (x_1 + x_2^{'})^2]}. \quad (2)$$

Сопротивление короткозамкнутой обмотки вторичного элемента ЛАД изменяется при перемещении подвижного электропроводящего замыкающего элемента.

Рассмотрим два варианта конструкции стержня короткозамкнутой обмотки вторичного элемента регулируемого линейного асинхронного двигателя (Рис. 1). Первый вариант – стержень обмотки ВЭ образован рядом изолированных проводников, расположенных один над другим по высоте паза (Рис. 1, а); второй – стержень выполнен сплошным (Рис. 1, б).

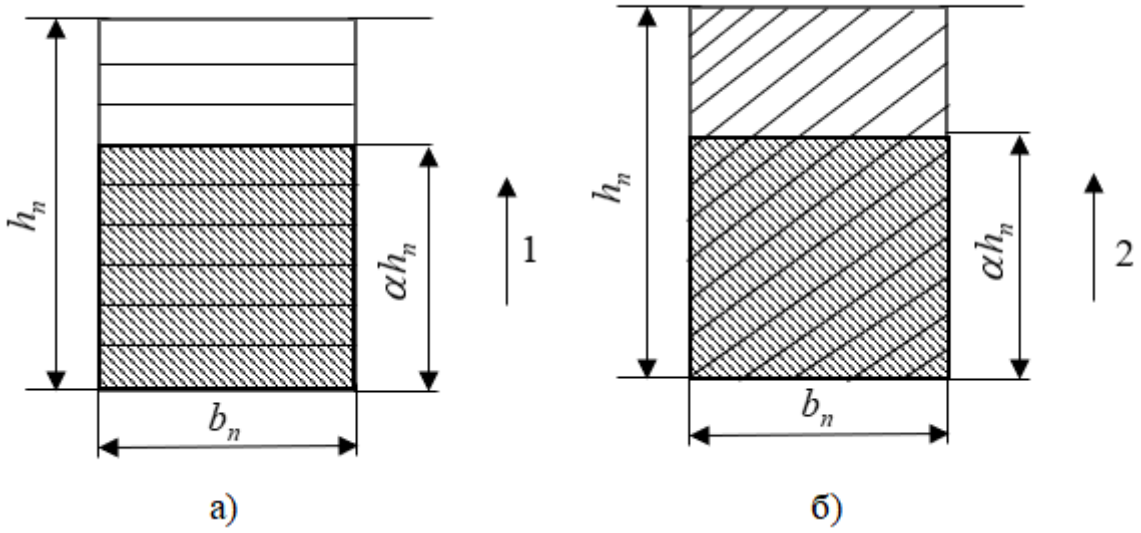


Рис. 1. Паз вторичного элемента регулируемого ЛАД. 1,2 – направление перемещения замыкающего элемента; h_n – высота паза; b_n – ширина паза; αh_n – площадь замкнутой части стержня обмотки вторичного элемента (заштрихована)

При определении пускового тягового усилия регулируемого ЛАД, у которого стержни короткозамкнутой обмотки вторичного элемента выполнены из отдельных изолированных проводников (Рис. 1, а) учет влияния вытеснения тока в пазу необязателен и расчет производится по формуле (2). В том случае, если стержни обмотки ВЭ выполнены сплошными (Рис. 1, б), то влияние вытеснения тока на величины параметров обмотки вторичного элемента учитывать необходимо. При учете влияния вытеснения тока в пазу обмотки ВЭ пусковое усилие определяется соотношением

$$F_{Tпуск} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot \varphi(\xi) \cdot r_2^{'}}{2\tau f[(r_1 + \varphi(\xi) r_2^{'})^2 + (x_1 + \lambda(\xi) x_2^{'})^2]}, \quad (3)$$

Received: 08.02.2021 Revised: 23.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 08.02.2021 Одобрена: 23.03.2021 Принята: 30.06.2021

где $\varphi(\xi)$ – коэффициент увеличения активного сопротивления обмотки вторичного элемента;

$\lambda(\xi)$ – коэффициент уменьшения индуктивного сопротивления обмотки вторичного элемента.

РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ УСИЛИЙ ЛАД

Полагаем, что при пуске регулируемого линейного асинхронного двигателя с изменяемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента $U_1 = const$ и $f = const$. Введем обозначение

$$C = \frac{m_1 U_1}{2\tau f} = const\,. \tag{4}$$

Вводя коэффициент *«C»* в формулу (2), получим пусковое усилие для варианта (рис. 1, а)

$$F_{Tпуск} = \frac{C_1 \cdot r_2^{'}}{(r_1 + r_2^{'})^2 + (x_1 + x_2^{'})^2}\,. \tag{5}$$

Соотношение для расчета пускового тягового усилия регулируемого ЛАД при учете влияния вытеснения тока в пазу обмотки ВЭ для варианта (Рис. 1, б)

$$F_{Tпуск} = \frac{C \cdot \varphi(\xi) \cdot r_2^{'}}{(r_1 + \varphi(\xi) \cdot r_2^{'})^2 + (x_1 + \lambda(\xi) \cdot x_2^{'})^2}\,. \tag{6}$$

Рассмотрим примеры расчета пускового тягового усилия регулируемого линейного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента, имеющего следующие данные:

$P_H = 13$ кВт;

$2p = 4$;

$f = 50$ Гц;

$U_1 = 220$ В,

$\tau = 0{,}1445$ м;

$l_\delta = 0{,}123$ м;

$r_1 = 0{,}36$ Ом;

$r_2 = 5{,}4 \cdot 10^{-5}$ Ом, $r_2^{'} = 0{,}245$ Ом;

$x_1 = 0{,}955$ Ом;

$x_2 = 0{,}308 \cdot 10^{-3}$ Ом, $x_2^{'} = 0{,}94$ Ом.

Received: 08.02.2021 Revised: 23.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 08.02.2021 Одобрена: 23.03.2021 Принята: 30.06.2021

Определим коэффициент C (4)

$$C = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 50 \cdot 0{,}1445} = 10048{,}4.$$

Выполним расчет пусковых тяговых усилий регулируемого ЛАД без учета влияния вытеснения тока в пазу обмотки вторичного элемента (рис. 1, а) при варьировании значения «α» по (5). Для $\alpha = 1$

$$F_{Tпуск1} = \frac{10048{,}4 \cdot 0{,}245}{(0{,}36 + 0{,}245)^2 + (0{,}955 + 0{,}94)^2} = 622 \text{ Н}.$$

Результаты расчета для других значений «α» представлены в Табл. 1.

Таблица 1. Пусковые тяговые усилий ЛАД

α	**1**	**0,8**	**0,6**	**0,4**
$F_{Tпуск}$, **Н**	622,0	914, 11	1414,9	2268,6

Определим значения пусковых тяговых усилий регулируемого линейного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ВЭ с учетом вытеснения тока в пазу обмотки вторичного элемента (Рис. 1, б) при варьировании значения «α». Значения коэффициентов увеличения активного $\varphi(\xi)$ и уменьшения индуктивного $\lambda(\xi)$ сопротивлений приняты на основании результатов, представленных в [15].

Расчеты выполнены по формуле (6). Пусковое тяговое усилие для регулируемого ЛАД при $\alpha = 1$

$$F_{Tпуск1} = \frac{10048{,}4 \cdot 4{,}7 \cdot 0{,}245}{(0{,}36 + 4{,}7 \cdot 0{,}245)^2 + (0{,}955 + 0{,}3 \cdot 0{,}94)^2} = 2954{,}7 \text{ Н}.$$

Таблица 2. Пусковые тяговые усилий ЛАД

α	**1**	**0,8**	**0,6**	**0,4**
$F_{Tпуск}$, **Н**	2954,7	2971,2	2940,6	2898,3

Received: 08.02.2021 **Revised: 23.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 08.02.2021 **Одобрена: 23.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

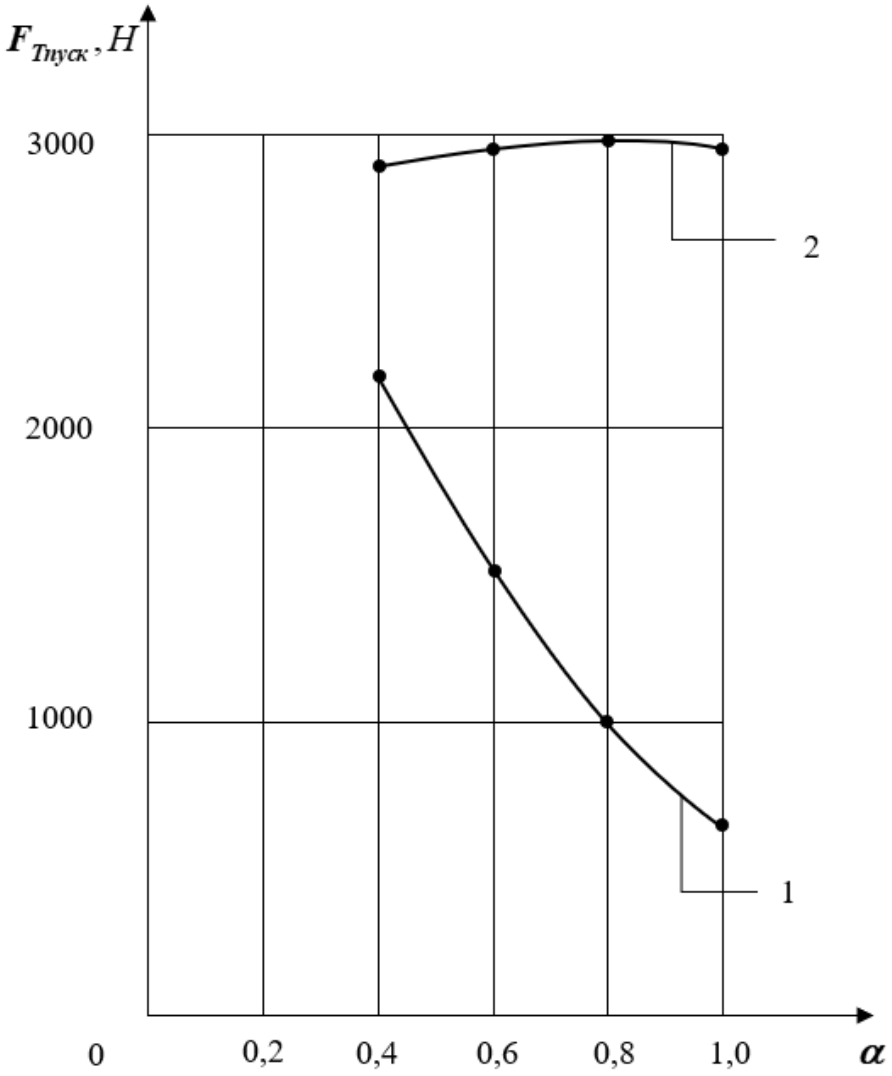


Рис. 2. Пусковые тяговые усилия регулируемого ЛАД без учета вытеснения тока (1) и с учетом вытеснения тока (2)

Результаты расчета (Табл. 1, 2) представлены графически на Рис. 2. Анализ результатов расчета пусковых тяговых усилий регулируемого линейного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента показывает, что если стержни обмотки ВЭ образованы отдельными изолированными проводниками, расположенными один за другим по высоте паза (Рис. 1 а), то ЛАД во многом идентичен асинхронной машине с фазной обмоткой ротора. Для роста $F_{Тпуск}$ следует увеличивать значение сопротивления обмотки вторичного элемента, что подтверждается данными Табл. 1, кривой 1, показанной на Рис. 2. Плоское расположение изолированных проводников в пазу короткозамкнутой обмотки вторичного элемента (Рис. 1 а) практически не позволяет проявляться поверхностному эффекту и делает необязательным учет влияния вытеснения тока на параметры обмотки ВЭ.

Received: 08.02.2021 Revised: 23.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 08.02.2021 Одобрена: 23.03.2021 Принята: 30.06.2021

Если стержни обмотки вторичного элемента регулируемого ЛАД выполнены сплошными (Рис. 1 б), то учет вытеснения тока в пазу ВЭ на параметры обмотки обязателен, что подтверждают данные расчета $F_{Tпуск}$, приведенные в Табл. 2. Анализ результатов расчета показал, что при такой конструкции обмотки вторичного элемента линейного асинхронного двигателя регулировка сопротивления в сторону увеличения, что происходит с ростом коэффициента «α» не дает значимого эффекта (Табл. 2, Рис. 2). Это означает, что в процессе пуска не нужно увеличивать сопротивление короткозамкнутой обмотки регулируемого ЛАД.

ВЫВОДЫ

1. Выполненные расчеты показали, что для увеличения пускового тягового усилия регулируемого линейного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой вторичного элемента стержни обмотки следует выполнять сплошными.
2. Степень замыкания (закорачивания) подвижным элементом стержня обмотки вторичного элемента регулируемого ЛАД практически не влияет на величину тягового пускового усилия.
3. Регулируемый ЛАД, стержни обмотки вторичного элемента которого образованы изолированными проводниками, по своим пусковым свойствам аналогичен асинхронному двигателю с фазным ротором.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Костенко М.П, Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ленинград: Энергия, ч. 2, 1973. [Kostenko MP, Piotrovskiy LM. *Elektricheskiye mashiny*. Leningrad: Energiya; 1973. (In Russ)]. Доступно по: https://bookree.org/reader?file=652790. Ссылка активна на: 27.01.2021.
2. Вольдек А.И. Электрические машины (монография). Ленинград: Энергия, 1978. [Vol'dek AI. *Elektricheskiye mashiny* (monografiya). Leningrad: Energiya; 1978. (In Russ)]. Доступно по: https://www.studmed.ru/view/voldek-ai-elektricheskie-mashiny_2c65ef977a1.html. Ссылка активна на: 27.01.2021.
3. Винокуров В.А., Попов Д.А. Электрические машины железнодорожного транспорта. М.: Транспорт, 1986. [Vinokurov VA, Popov DA. *Elektricheskiye mashiny zheleznodorozhnogo transporta*. M.: Transport; 1986. (In Russ)]. Доступно по: https://www.studmed.ru/vinokurov-va-popov-da-elektricheskie-mashiny-zheleznodorozhnogo-transporta_7d63ea3eaf8.html. Ссылка активна на: 27.01.2021.
4. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. М.: Энергоатомиздат, 1991. [Veselovskiy ON, Konyayev AYu,

Received: 08.02.2021 Revised: 23.03.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 08.02.2021 Одобрена: 23.03.2021 Принята: 30.06.2021

Sarapulov FN. *Lineynyye asinkhronnyye dvigateli*. M.: Energoatomizdat; 1991. (In Russ)]. Ссылка активна на: 28.01.2021. Доступно по: http://nauchkniga.com/nk/index.php?action=bookInfo&id=69266.

5. Сарапулов Ф.Н., Бегалов В.А., Иваницкий С.В. Исследование короткозамкнутого линейного асинхронного двигателя с разомкнутым магнитопроводом // Электричество. – 1982. – № 5. – С. 30–34. [Sarapulov FN, Begalov VA, Ivanitskiy SV. Issledovaniye korotkozamknutogo lineynogo asinkhronnogo dvigatelya s razomknutym magnitoprovodom. *Elektrichestvo.* 1982;(5):30-34. (In Russ.)].
6. Сарапулов Ф.Н. Расчет режима короткого замыкания индукционного двигателя на основе магнитной схемы замещения // Электричество. – 1976. – № 6. – С. 56–58. [Sarapulov FN. Raschet rezhima korotkogo zamykaniya induktsionnogo dvigatelya na osnove magnitnoy skhemy zameshcheniya. *Elektrichestvo.* 1976;(6):56-58. (In Russ.)].
7. Епифанов А.П., Лебедев А.М., Талья И.И. Повышение эффективности тягового линейного асинхронного привода // Известия вузов. Электромеханика. – 1990. – № 7. – С. 60–67. [Epifanov AP, Lebedev AM, Tal'ya II. Povysheniye effektivnosti tyagovogo lineynogo asinkhronnogo privoda. *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika.* 1990;(7):60-67. (In Russ.)].
8. Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф., Шымчак П. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТИ – УПИ, 2001. [Sarapulov FN, Sarapulov SF, Shimchak P. *Matematicheskiye modeli lineynykh induktsionnykh mashin na osnove skhem zameshcheniya*. Yekaterinburg: GOU VPO UGTI – UPI; 2001. (In Russ)]. Доступно по: https://bookree.org/reader?file=813029&pg=2. Ссылка активна на: 28.01.2021.
9. Hellinger R, Mnich P. Linear Motor-Powered Transportation: History, Present Status and Future Outbook. *Proceedings of the JEEE.* 2009;97(11):1892-1900.
10. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия, 1970. – 271 с. [Voldek AI. Induktsionnye magnitogidrodinamicheskie mashiny s zhidkometallicheskim rabochim telom. Leningrad: Energia; 1970. 271 p. (In Russ.)].
11. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 180 с. [Yamamura S. Teoria lineinykh asinkhronnykh dvigatelei. Leningrad: Energoatomizdat; 1983. 180 p. (In Russ.)].
12. Черных И.В., Сарапулов Ф.Н. Основы теории и моделирование линейного асинхронного двигателя как объекта управления. – Екатеринбург, УГТУ, 1999. – 229 С. [Chernykh IV, Sarapulov FN. Osnovy teorii i modelirovanie lineinogo asinkhronnogo dvigatelia kak ob'ekta upravlenia. Ekaterinburg. UGTU. 1999. 229 p. (In Russ.)].
13. Li M, Yang Z, Lin F, Sun H. Characteristics of Linear Induction Motor Considering Material of Reaction Plate Change. Journal of Computers. 2013;8(1):102-107. doi: 10.4304/jcp.8.1.102-107
14. Lee H-W, Lee SG, Park C, et al. Characteristic Analysis of a Linear Induction Motor for a Lightweight Train According to Various Secondary Schemes. IJR International Journal of Railway. 2008;1(1):6-11.
15. Соломин А.В. Регулируемый линейный асинхронный двигатель // Электротехника. – 2004. – № 12. – С. 31–34. [Solomin AV. Reguliruyemyy lineynyy asinkhronnyy dvigatel'. *Elektrotekhnika.* 2004;(12):31-34. (In Russ.)].

Received: 08.02.2021 **Revised: 23.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 08.02.2021 **Одобрена: 23.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Сведения об авторах:
Соломин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN:6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru
Соломин Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN:7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru
Чехова Анастасия Алановна, аспирант;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Solomin Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor;
eLibrary SPIN: 6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru
Andrei V. Solomin, Candidate of Technological sciences, Associate Professor; phone: +7(863)2726212;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru
Anastasia A. Chekhova, Graduate; phone: +7(863)2726212;
eLibrary SPIN: 8201-7660; ORCID: 0000-0002-3410-3687;
E-mail: ema@rgups.ru

Цитировать:
Соломин В.А., Соломин А.В., Чехова А.А. Пусковые усилия тягового линейного асинхронного двигателя с регулируемым сопротивлением короткозамкнутой обмотки вторичного элемента // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2 . – С. 87–96. doi: 10.17816/transsyst20217287-96

To cite this article:
Solomin VA, Solomin AV, Chekhova AA. Starting forces of the traction linear induction motor with adjustable resistance of the short-circuited winding of the secondary element. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):87-96. doi: 10.17816/transsyst20217287-96

Received: 08.02.2021 **Revised: 23.03.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 08.02.2021 **Одобрена: 23.03.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 629.423: 62-83
DOI 10.17816/transsyst20217297-105

© Е. Е. Мирошниченко
Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

ТЯГОВЫЙ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С УЛУЧШЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель: Создание предпосылок для внедрения вентильно-индукторного двигателя в систему тягового привода электрического подвижного состава путем улучшения показателей надежности подшипникового узла.

Методы: Расчеты проводились с использованием метода конечных элементов.

Результаты: Установлено, что расчетные значения силы одностороннего магнитного притяжения, приложенные к подшипниковому узлу, в десятки раз превышают допустимые значения. Следствием является ускоренный износ и выход из строя подшипников. Предложен алгоритм, учитывающий влияние сил одностороннего магнитного притяжения при неравномерном воздушном зазоре.

Заключение: Алгоритм дает возможность внести изменения в технологический цикл производства и улучшить потребительские качества тягового вентильно-индукторного двигателя.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, воздушный зазор, сила одностороннего магнитного притяжения, подшипниковый узел, надежность

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© E. E. Miroshnichenko
Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

SWITCHED RELUCTANCE TRACTION MOTOR WITH IMPROVED INDICATORS OF THE RELIABILITY OF BEARING UNITS FOR AN ELECTRIC ROLLING STOCK

Aim: Establishment of preconditions for the introduction of a switched reluctance motor into the system of traction drive of an electric rolling stock by improving the performance of the bearing unit.

Methods: Calculations were carried out using the finite element method.

Results: It was found that the calculated values of force of a one-way magnetic attraction applied to the bearing unit are tens of times higher than the permissible values. The

Received: 23.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 23.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

result is accelerated wear and failure of the bearings. An algorithm is proposed which takes into account the influence of one-way magnetic attraction forces in an uneven air gap.

Conclusion: The algorithm makes it possible to change the production cycle and improve the consumer quality of the switched reluctance traction motor.

Key words: switched reluctance motor, air gap, force of a one-way magnetic attraction, bearing unit, reliability

ВВЕДЕНИЕ

Создание электрического подвижного состава конкурентоспособного на мировом рынке диктует необходимость применения энергоэффективных и высоконадежных тяговых электродвигателей. Хорошие перспективы применения в системе тягового электропривода имеет вентильно-индукторный двигатель (ВИД). По простоте конструкции и надежности ВИД нет равных, по КПД он превосходит асинхронные тяговые двигатели и немного уступает синхронным тяговым двигателям с постоянными магнитами на роторе [1, 2]. Дополнительное преимущество данного типа двигателей заключается в наличии естественной механической характеристики, являющейся оптимальной для тягового электропривода [3].

Областью применения тяговых ВИД являются пассажирские и грузовые электровозы, высокоскоростные поезда, метрополитен, электромобили и другие транспортные средства с электрическим приводом [1, 3–8].

В настоящее время разработкой и внедрением ВИД для транспортных систем занимаются ведущие электротехнические компании во всем мире.

Первые ВИД типа НТИ-350 для электропоездов были изготовлены на ОАО «НЭВЗ». При производстве НТИ-350 по отношению к аналогичному асинхронному двигателю НТА-350, изготовленному в том же корпусе, только на технологических операциях достигнуто снижение затрат на 30 %, а КПД по результатам испытаний оказался выше на 3 % [4].

Улучшение виброакустических показателей и показателей надежности подшипниковых узлов (ПУ) ВИД в настоящее время остается важной областью исследований, над которой работают многие ученые и изобретатели [9–13]. Повысить производительность работы ВИД, улучшить рабочую точность и увеличить срок службы подшипника позволяет изобретение, осуществляющее контроль вибрации ротора [9]. Имеются устройства, при помощи которых достигается значительный эффект в снижении шума ВИД, однако, при этом снижаются технологичность изготовления и эффективность электромеханического преобразования энергии [10]. Следовательно, снижение шума и вибраций достигается в основном за счет ухудшения важных показателей работы

Received: 23.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 23.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

ВИД. Поэтому, необходимо учитывать комплексно механические и электромагнитные факторы при достижении требуемого результата, чтобы не приводить к ухудшению остальных параметров работы ВИД.

Целью данной статьи является создание предпосылок для внедрения ВИД в систему тягового привода электрического подвижного состава путем существенного улучшения показателей надежности ПУ. Для этого планируется решить научную проблему, которая заключается в наличии значительных сил одностороннего магнитного притяжения (ОМП) в воздушном зазоре, возникающих при его неравномерности, воздействующих на ПУ, и, как следствие, являющихся причиной ускоренного износа подшипников, а также шума и вибраций ВИД. Задача данной работы состоит в разработке рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления тяговых ВИД, улучшению их виброакустических показателей и показателей надежности ПУ.

Величина воздушного зазора тягового ВИД имеет ограничения в основном технологического характера. В связи с тем, что невозможно абсолютно точно изготовить элементы конструкции ВИД и избежать неточностей в сборке электрической машины, неравномерность воздушного зазора почти всегда на практике будет иметь место. Следовательно, будут присутствовать силы ОМП, создающие динамические усилия, которые в комплексе со статическими усилиями приводят к быстрому износу элементов и их преждевременному отказу [14].

УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА

Проведены расчеты для магнитной системы ВИД (Рис. 1), спроектированной в корпусе тягового двигателя ДТА-1200А электровоза ЭП20.

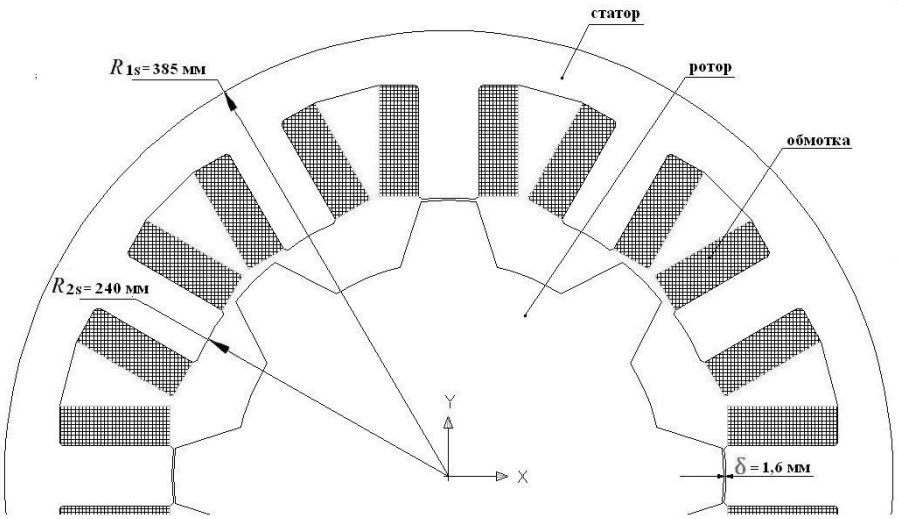


Рис. 1. Фрагмент поперечного сечения активной части ВИД

Received: 23.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 23.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

Мощность ВИД на валу соответствует $P_{ном}$ = 1300 кВт, частота вращения $n_{ном}$ = 1766 об/мин, напряжение U_d = 2200 В. Рассмотрен номинальный режим работы при смещении ротора по радиусу относительно оси симметрии статора на 0,4 мм по оси X и по оси Y на 0,4 мм.

Для расчета магнитного поля был выбран полевой метод, реализованный в программе FEMM. Полученная матрица значений зависимости потокосцепления $\psi = f(i, \theta)$ применяется в программе MATLAB (SIMULINK) с целью нахождения зависимости тока от момента времени $i(t)$ (Рис. 2).

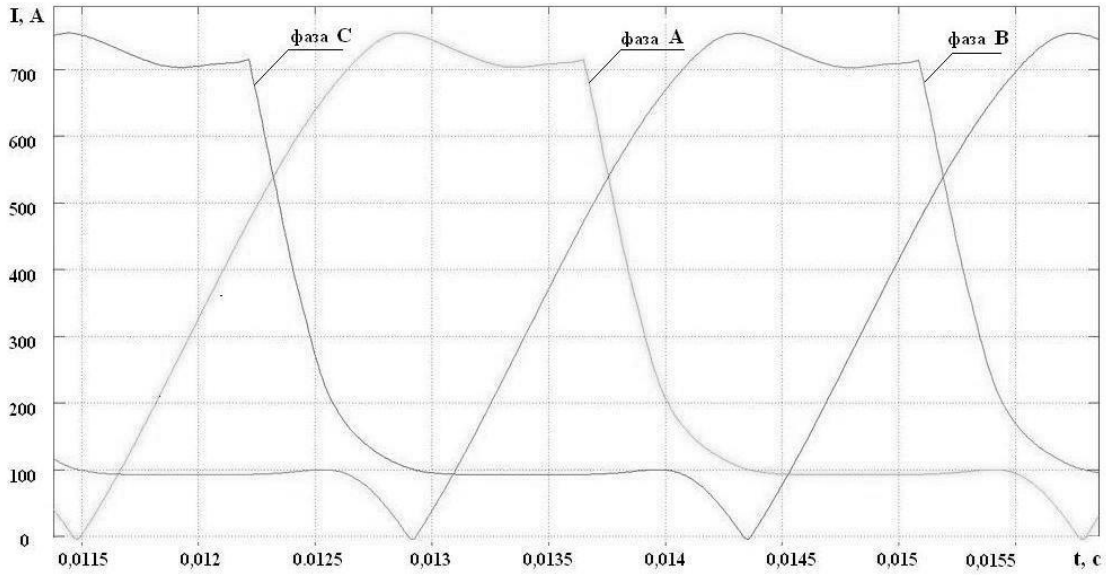


Рис. 2. Токи в фазах обмотки ВИД

Затем фазный ток применяется в дальнейших расчетах в формате зависимости тока от угла поворота ротора $i(\theta)$. Определение сил ОМП осуществляется по тензору натяжений Максвелла в магнитном поле. Приняты ограничения и допущения: магнитное поле ВИМ является плоскопараллельным; за пределами магнитной системы ВИД поле отсутствует; взаимное влияние фаз не учитывается; вихревые токи не оказывают существенного влияния на распределение магнитной индукции. Полученные расчетные значения сил ОМП даны на Рис. 3.

Максимальное значение силы ОМП соответствует концу цикла коммутации фазы. Поэтому, имеется три максимума результирующей силы ОМП, которые приходятся на спадающие токи соответствующих фаз.

Предлагается допустимую силу ОМП считать равной силе, оказывающей влияние на подшипники ВИД при остаточном дисбалансе. Тогда, согласно ГОСТ ИСО 1940-1-2007 [15] допустимое значение силы ОМП в данном режиме работы ВИД (масса ротора m = 415 кг) составляет

Received: 23.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 23.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

191,8 Н. Расчетные значения силы ОМП (Рис. 3) в десятки раз превышают допустимое значение силы ОМП.

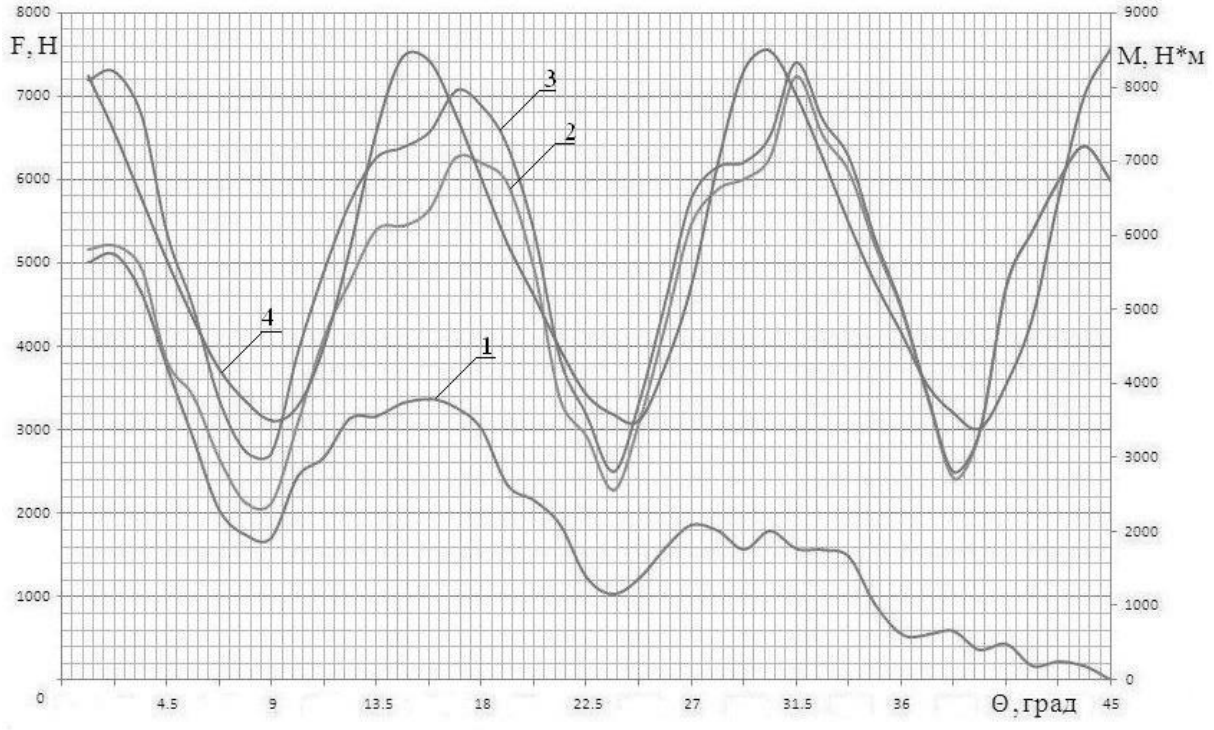


Рис. 3. Параметры ВИД при смещенном роторе:
1, 2 – силы ОМП по осям Х и У;
3 – модуль значений результирующей силы ОМП;
4 – электромагнитный момент на валу

Следовательно, необходимо уточнить особенности производства ВИД с точки зрения обеспечения равномерности воздушного зазора. С этой целью предложен алгоритм расчета характеристик ВИД, учитывающий влияние сил ОМП, позволяющий внести изменения в технологию производства, гарантирующий работоспособность в течение длительного срока службы (Рис. 4).

Алгоритм оригинален в своем роде и отличается от других, известных в настоящее время, выделенными блоками (Рис. 4). Так, данный алгоритм имеет блок, где отражены действия по выбору максимального смещения для горизонтальных ВИД в направлении силы тяжести. На этом шаге рассматривается наиболее неблагоприятный вариант сборки.

На этапе, когда при увеличении воздушного зазора получают недопустимые значения КПД, меньше заявленных в техническом задании, необходимо дальнейшие действия согласовывать с заказчиком.

Received: 23.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 23.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

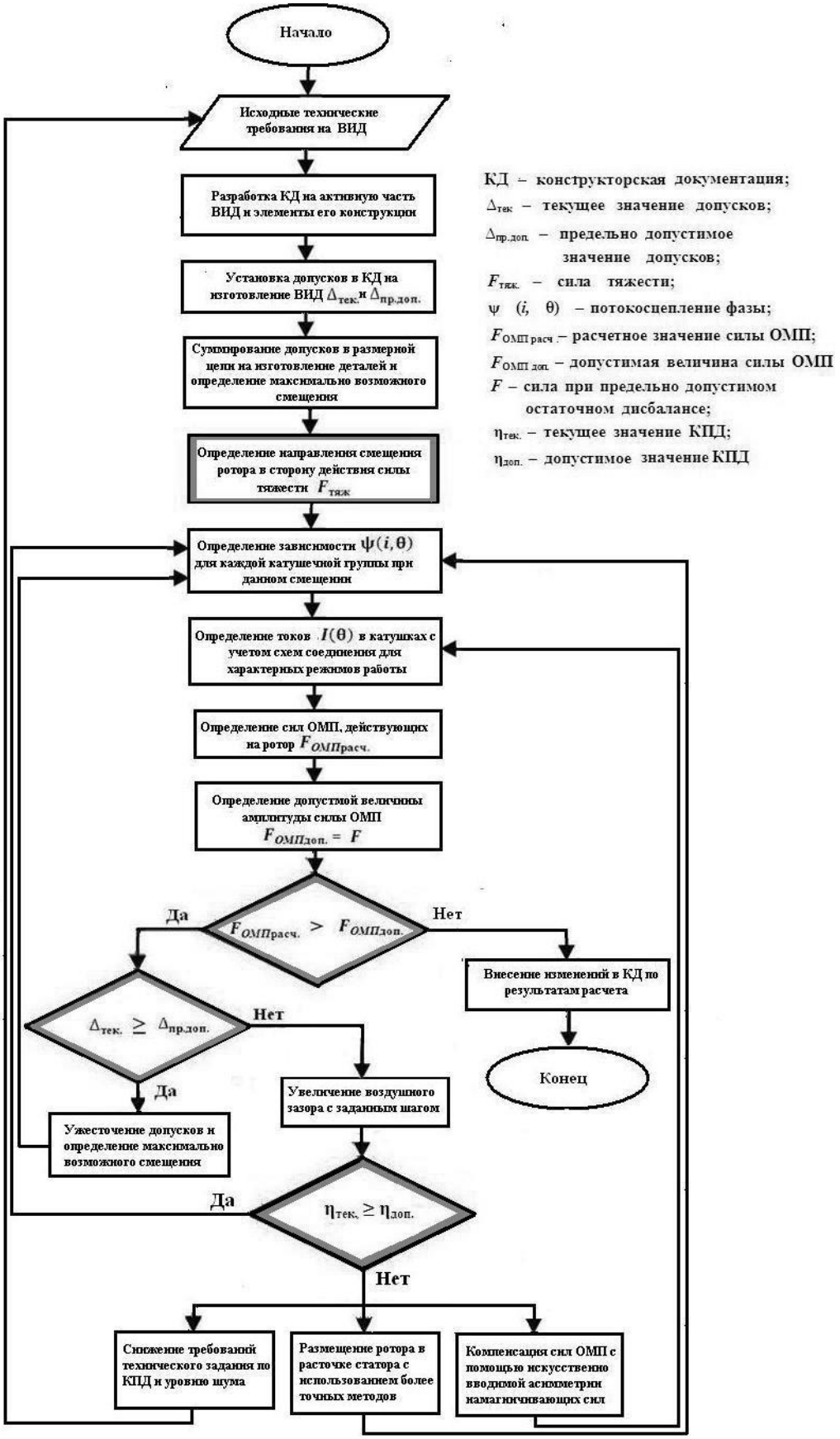


Рис. 4. Алгоритм расчета характеристик, проектируемого ВИД

Received: 23.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 23.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

Так, с целью точного размещения ротора возможно использовать пуклевку его листов. Более затратным вариантом является применение горячей посадки ротора на вал с заранее произведенным его пакетированием на специальной технологической оснастке.

Также, возможно осуществлять наиболее точный контроль составных элементов конструкции ВИД в процессе изготовления. Необходимо фиксировать их отклонения в размерах от заявленных в техническом задании, а затем производить их сортировку так, чтобы при сборке одного ВИД отклонения фактических размеров со знаком плюс и минус компенсировали друг друга

Компенсировать силы ОМП, действующие в воздушном зазоре возможно, используя принцип активного магнитного подвеса. Для этого необходимо разработать эффективную систему управления, содержащую два канала регулирования тока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм, представленный в данной работе, учитывающий наличие сил ОМП, позволяет внести изменения в технологический цикл производства с целью контроля точности изготовления и обеспечения равномерности воздушного зазора тяговых ВИД.

Применение методов более точного размещения ротора, а также осуществление активного магнитного подвеса ротора дает возможность снизить нагрузку на подшипники ВИД, тем самым улучшив показатели их надежности.

Применение тягового ВИД с высокими потребительскими свойствами позволит обеспечить создание электрического подвижного состава конкурентоспособного на мировом уровне

Автор заявляет, что:

1. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Петрушин А.Д., Волков И.В., Черняев С.С. Повышение энергетической эффективности подвижного состава железных дорог с учетом требований экологии // Вестник РГУПС. – 2021. – № 1. – С. 40–46. [Petrushin AD, Volkov IV, Chernyaev SS. Improving the energy efficiency of railway rolling stock, taking into account environmental requirements. *Vestnik RGUPS*. (In Russ.)]. 2021;1:40-46. doi: 10.46973/0201– 727X_2021_1_40

2. Буряковский С.Г., Любарский Б.Г., Маслий А.С., Шевкунова А.В. Оптимизация системы управления вентильно-индукторного двигателя для стрелочного перевода // Вестник Ростовского государственного университета путей

Received: 23.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 23.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

сообщения. – 2013. – № 2 (50). – С. 61–67. [Buryakovskiy SG, Lubarskiy BG, Masliy AS, Shevkunova AV. Improvement of the dynamics of railway frequency controlled electric drive switch. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2013;2(50):61-67. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19020840 Ссылка активна на: 24.04.2021.

3. Антипов В.Н., Грозов А.Д. Перспективные электромеханические преобразователи энергии для городского транспорта / /Электромеханические преобразователи энергии: Межвузовский тематический сборник научных трудов. – 2014. – С. 6–11. [Antipov VN, Grozov AD. Perspektivnyye elektromekhanicheskiye preobrazovateli energii dlya gorodskogo transporta. *Elektromekhanicheskiye preobrazovateli energii: Mezhvuzovskiy tematicheskiy sbornik nauchnykh trudov*. 2014:6-11. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21544962&selid=21697748. Ссылка активна на: 24.04.2021.

4. Никифоров Б.В., Пахомин С.А., Птах Г.К. Вентильно-индукторные двигатели для тяговых электроприводов// Электричество. – 2007. – № 2. – С.34–38. [Nikiforov BV, Pakhomin SA, Ptakh GK. Switched reluctance motor for traction electric drives. *Elektrichestvo.* 2007;2:34-38. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12841002. Ссылка активна на: 24.04.2021.

5. Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Исследование характеристик базовых вентильно-индукторных электродвигателей тяговых приводов городского электротранспорта // Электричество. – 2016. – №10. – С. 45–52. [Antipov VN, Grozov AD, Ivanova AV. Studying the characteristics of basic converter-fed inductor electric motors for traction drives of urban electric vehicles *Elektrichestvo.* 2016;2:45-52. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26903142. Ссылка активна на: 24.04.2021.

6. Buriakovskyi S, Babaiev M, Lubarskiy B, Masliy Ar, et al. Quality assessment of control over the traction valve-inductor drive of hybrid diesel locomotive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018;1/2(91):68-75. doi: 10.15587/1729-4061.2018.122422

7. Бакланов Д.А. Регулируемый электропривод сельскохозяйственных механизмов на основе вентильно-индукторных двигателей: дис. канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 231 с. [Baklanov DA. Reguliruyemyy elektroprivod sel'skokhozyaystvennykh mekhanizmov na osnove ventil'no-induktornykh dvigateley [dissertation]. Moscow; 2006. 231 p. (In Russ.)].

8. Нестеров Е.В. Разработка вентильно-индукторных двигателей для легких электрических транспортных средств: дис. канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 126 с. [Nesterov YeV. Razrabotka ventil'no-induktornykh dvigateley dlya legkikh elektricheskikh transportnykh sredstv [dissertation]. Moscow; 2006. 126 p. (In Russ.)].

9. Patent CN 101546948A Switched reluctance motor capable of actively controlling rotor vibration. № 200910098172.6; 05.05.2009. Available from: https://www.epo.org/searching-for-patents/helpful-resources/asian/china/search.html/.

10. Патент РФ на изобретение № 2011149255/07 02.12.2011. Бюл. № 14. Шабаев В.А, Кругликов О.В., Тубис Я.Б. Трехфазный вентильно-индукторный двигатель с минимальными шумами, вибрациями и пульсациями момента, способ и устройство управления. [Pat. RUS № 2011149255/07.02.12.2011. Byul. № 14. Shabaev VA, Kruglikov OV, Tubis JB.

Received: 23.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 23.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

Three-phase valve-inductor motor with minimum noise, vibrations of torque, method and device of control. (In Russ.)]. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37510584. Дата обращения: 24.04.08.2021.

11. Wang X, Ge B, Jin W, Ferreira FJTE. Radial Force Analytic Modeling for a Novel Bearingless Switched Reluctance Motor When Considering Rotor Eccentricity. *Electric Power Components and Systems.* 2014;42(6):544-553. doi: 10.1080/15325008.2014.880968

12. Chun Gan, Jianhua Wu, Mengjie Shen, Shiyou Yang, Yihua Hu, Wenping Cao. Investigation of Skewing Effects on the Vibration Reduction of Three-Phase Switched Reluctance Motors. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS.* 2015;51:1-9. doi: 10.1109/TMAG.2015.2441035

13. C. Gan, J. Wu, Q. Sun, W. Kong, et al. A Review on Machine Topologies and Control Techniques for Low-Noise Switched Reluctance Motors in Electric Vehicle Applications. *IEEE.* 2018;6:31430-31443. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2837111

14. Петрушин А.Д., Илясова Е.Е. Исследование влияния неравномерности воздушного зазора на величину силы одностороннего магнитного притяжения ротора к статору вентильно-индукторной электрической машины// Электротехнические и компьютерные системы. – 2011. – 3 (79). – С. 278–279. [Petrushin AD, Iljasova EE. Evaluation of air gap non-uniformity influence on the magnitude of force of rotor to stator unilateral attraction in switched reluctance motor. *Elektrotekhnicheskiye i komp'yuternyye sistemy*. 2011;3(79):278-279. (In Ukr.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17071705. Ссылка активна на: 24.04.2021.

15. ГОСТ ИСО 1940-1–2007. Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса**.** – М.: Стандартинформ, 2008. – 27 с. [GOST ISO 1940-1–2007. Vibratsiya. Trebovaniya k kachestvu balansirovki zhestkikh rotorov. Chast' 1. Opredeleniye dopustimogo disbalansa. Moscow: Standartinform; 2008. 27 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:
Мирошниченко Екатерина Евгеньевна, кандидат технических наук;
eLibrary SPIN: 1498-5371; ORCID: 0000-0002-8883-8021;
E-mail: ekaterinailjasova@rambler.ru
Information about the authors:
Ekaterina E. Miroshnichenko, Candidate of Engineering Sciences**;**
eLibrary SPIN: 1498-5371; ORCID: 0000-0002-8883-8021;
E-mail: ekaterinailjasova@rambler.ru

Цитировать:
Мирошниченко Е.Е. Тяговый вентильно-индукторный двигатель с улучшенными показателями надежности подшипниковых узлов для электрического подвижного состава // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 97–105. doi: 10.17816/transsyst20217297-105
To cite this article:
Miroshnichenko EE. Switched reluctance traction motor with improved indicators of the reliability of bearing units for an electric rolling stock. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):97-105. doi: 10.17816/transsyst20217297-105

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК 621.31 [UDC 621.31]
DOI 10.17816/transsyst202172106-118

© И. М. Казымов, Б. С. Компанеец, О. Н. Дробязко
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
(Барнаул, Россия)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Обоснование: Создание и распространение технических средств и комплексов, направленных на построение эффективных систем контроля электрических сетей, использующих информацию, которая может быть собрана современными приборами учёта, а также организация работы в автоматизированном режиме является актуальной задачей на настоящем этапе развития электроэнергетики в России и в мире.

Цель: Исследование, представленное в данной статье, направлено на создание эффективной системы контроля параметров электрической энергии в распределительных сетях низкого и среднего уровня напряжений.

Методы: Исследование выполнено с использованием теоретических основ и базовых законов электротехники, а также методов компьютерного моделирования и САПР.

Результаты: Приводится описание разработанной системы, графически показывается и письменно обосновывается применимость её использования, указываются возможности и перспективы применения, даются рекомендации по практическому применению.

Заключение: Полученные результаты могут быть использованы электросетевыми компаниями для проведения анализа состояния и эффективности работы электрических сетей, а также могут представлять интерес для исследователей, работающих над созданием цифровых двойников электрических сетей.

Ключевые слова: электроэнергетика, цифровизация, распределительная сеть, система контроля, АИИС КУЭ.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© I. M. Kazymov, B. S. Kompaneets, O. N. Drobyazko
Polzunov Altai State Technical University
(Barnaul, Russia)

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR CONTROL OF ELECTRIC ENERGY PARAMETERS IN THE DISTRIBUTION NETWORK

Background: The creation and distribution of technical means and complexes aimed at building effective control systems for electrical networks using information that can be

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

collected by modern metering devices, as well as organizing work in an automated mode, is an urgent task at the present stage of development of the electric power industry in Russia and in the world.

Aim: The research presented in this article is aimed at creating an effective system for monitoring the parameters of electrical energy in distribution networks of low and medium voltage levels.

Methods: The study was carried out using the theoretical foundations and basic laws of electrical engineering, as well as methods of computer modeling and CAD.

Results: A description of the developed system is given, the applicability of its use is graphically shown and substantiated in writing, the possibilities and prospects of application are indicated, and recommendations for practical application are given.

Conclusion: The results obtained can be used by power grid companies to analyze the state and efficiency of power grids, and may also be of interest to researchers working on the creation of digital twins of power grids.

Key words: electric power industry, digitalization, distribution network, control system, ASCMA.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время цифровизация электроэнергетических систем и сетей является одним из важнейших направлений развития отечественной и мировой электроэнергетики. Так, задача цифровизации электроэнергетического комплекса была поставлена в 2018 году Указом Президента Российской Федерации [1]. На основании данного указа ведущими электросетевыми компаниями страны были сформированы концепции проведения цифровизации сетей [2], в которых говорится о важности работ в данном направлении и планах компаний по осуществлению «Цифровой трансформации» электросетевого комплекса страны. В 2018–2019 были определены ключевые направления цифровизации электрических сетей, утверждён паспорт программы «Цифровая трансформация электроэнергетики России» и определена новая парадигма развития электроэнергетики [3, 4]. Таким образом, цифровизация электрических сетей страны и создание их «цифровых двойников», являются на сегодняшний день актуальными и современными направлениями исследований.

В настоящее время в электросетевых компаниях Российской Федерации проводятся мероприятия по оснащению распределительных сетей низкого напряжения современными приборами учёта с возможностью передачи показаний в автоматическом режиме для создания системы АИИС КУЭ, однако получаемые данные зачастую имеют некорректный или неполный характер ввиду различных объективных причин. Устранение различных технических трудностей позволит получать корректную информацию о сети и её потребителях, что, в свою очередь, сделает возможным полностью использовать измерительные возможности прибора учёта и на основании полученной информации

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

реализовать проведение автоматизированный контроль за распределительными сетями.

Однако по тем или иным причинам не практикуется использование возможностей современных приборов учёта для передачи всех возможных измеряемых параметров, в большинстве случаев передаются для обработки только данные о потреблённой электрической энергии за расчетный период.

Очевидно, что создание и распространение технических средств и комплексов, направленных на построение эффективной системы, использующей информацию, которая может быть собрана современными приборами учета, а также организация ее работы в составе автоматизированного рабочего места для сотрудников электросетевых организаций является актуальной задачей на настоящем этапе развития электроэнергетики в России и в мире.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети должна отвечать следующим требованиям:

- возможность работы как с современными приборами учета, входящими в АИИС КУЭ, так и с разработанными устройствами для контроля параметров электрической энергии в сети в месте его установки;
- возможность работать в составе автоматизированного рабочего места;
- возможность накапливания и предоставления статистики результатов анализа сетей;
- перспективность (ориентированность на развитие отрасли в части цифровой трансформации, а именно в части создания цифровых двойников электрических сетей) [5, 6].

В силу объективных причин, своевременное и точное определение факта и места неучтённого потребления электрической энергии невозможно без применения специализированных программно-аппаратных технических средства и комплексов.

Такая система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети должна позволять получать точные результаты анализа сети на предмет наличия неучтённого потребления электрической энергии и/или присутствия в сети повышенных технических потерь за короткое время, а также иметь возможности для дальнейшей модернизации в автоматизированную систему для обеспечения возможности контроля сетей в реальном времени.

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Системой контроля параметров электрической энергии в распределительной сети может называться система, состоящая из устройства сбора и обработки данных с установленным необходимым программным обеспечением и устройств для контроля параметров электрической энергии в сети в точке их установки (либо современных приборов учета, связанных в АИИС КУЭ) в количестве двух и более штук (верхний предел на практике ограничивается конечным числом потребителей электрической энергии и элементов электрической сети в реальных распределительных сетях), причем обязательной является установка устройства контроля на выводах источника питания. Методика определения числа необходимых к установке приборов в сети приведена в [7].

Упрощённо пример расположения устройств контроля параметров электрической энергии в сети в рассматриваемой распределительной сети низкого и/или среднего уровня напряжений показан на Рис. 1.

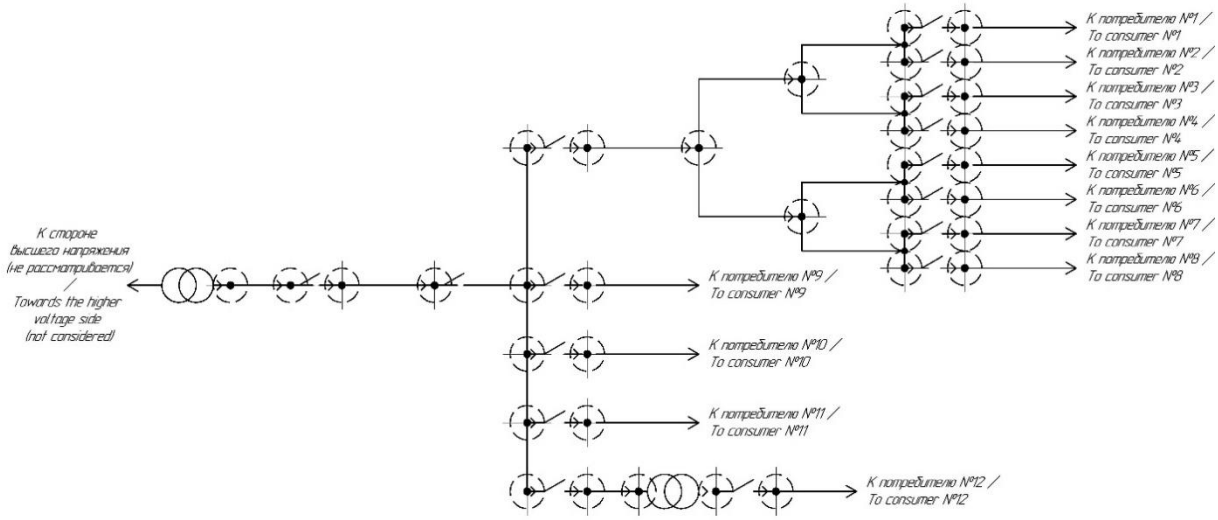


Рис. 1. Пример расположения устройств контроля параметров электрической энергии в сети

Из представленного на Рис. 1 следует, что влияние каждого элемента электрической сети может быть учтено и показано в отдельности, в том числе в отрыве от остальных элементов.

Поэтому, на основании анализа Рис. 1, становится очевидно, что в таком случае в рамках представляемой системы контроля возможно построение цифровой модели распределительной сети с системой её контроля.

Создание цифрового представления электрических сетей является

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

наиболее важной составляющей системы контроля, так как корректное проведение анализа широко разветвлённых электрических сетей аналитически человеком неэффективно по ряду причин (высокие временные и финансовые затраты, низкое качества анализа, возможные ошибки, невозможность сопоставления полученных результатов с базой результатов анализа аналогичных сетей), а, следовательно, вся информация, получаемая с устройств сбора и обработки данных должна обрабатываться и представляться в цифровом представлении электрической сети в виде, удобном как для восприятия человеком, так и для проведения автоматизированного анализа с помощью ЭВМ. Очевидно, что в данном случае электрическая сеть должна быть разбита на ряд отдельных элементов, между которыми заданы связи, показывающие их связь в реальной электрической сети (в том числе и конечные потребители электрической энергии). Тогда будет возможно масштабирование электрических сетей и, в том числе, объединение сетей двух и более классов напряжения в единую цифровую картину. С учётом масштабов распределённости сетей низкого и среднего уровня напряжений обеспечение возможности проведения анализа эффективности их работы автоматизированно с использованием ЭВМ позволит значительно сократить издержки, связанные с проведение обходов сетей и выявить все имеющиеся несоответствия в электрической сети [8–12].

Упрощённое представление цифровой модели показано на Рис. 2, где штриховой линией показаны точки установки приборов контроля параметров электрической энергии, элементы (иными словами – участки сети) обозначены условно и имеют три параметра:

- наименование (Л – линия [line]; Р – разъединитель [disconnector]; Т – трансформатор [transformer]; П – потребитель [consumer]) с нумерацией согласно правилам выполнения нумерации;
- величина утечки тока на элементе ΔI (для потребителей имеет смысл использовать параметр потребляемого тока I);
- величина падения напряжения на элементе ΔU (для потребителей имеет смысл использовать параметр напряжения в точке подключения U).

Стоит отметить, что линии связи между элементами отражают последовательность их соединения между собой и не подразумевают наличия дополнительных элементов в любом случае, однако при различном числе устройств сбора и передачи информации под одним элементом в цифровом представлении электрической сети может подразумеваться множество элементов в реальной электрической сети. В таком случае точность определения мест возникновения всех несоответствий и точность получаемых данных в целом снижается по причине низкой разрешающей способности цифрового представления электрической сети.

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

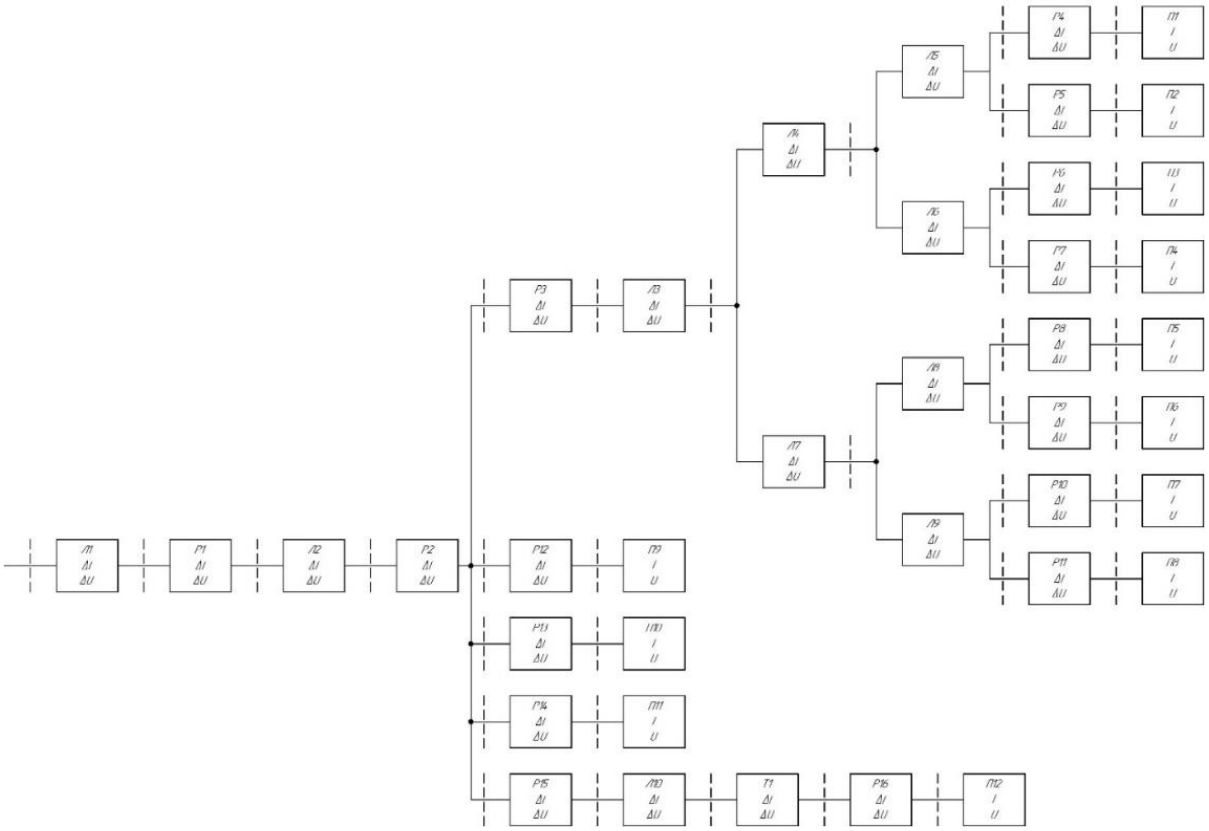


Рис. 2. Цифровое представление электрической сети с системой её контроля

Нетрудно заметить, что в данном случае не учтены сборные шины распределительных устройств в качестве отдельных элементов (например, отсутствует прибор контроля параметров электрической энергии на отходящих клеммах «Р2»). Это допущение сделано ввиду высокой надёжности сборных шин и малой их физической протяженности. При этом сохраняется возможность идентификации поврежденного участка шин ввиду наличия множества устройств на отходящей стороне сборных шин.

Элементы заданы лишь относительными значениями параметров для обеспечения оптимального соотношения: число параметров – информативность. Ввиду того, что параметрами конечных элементов являются абсолютные значения электрических величин, абсолютное значение каждой из величин в любой точке сети может быть получено при помощи простейших арифметических операций на основании уже имеющихся данных. Именно благодаря этому решению достигается удобство цифрового представления электрической сети в первом приближении.

Однако создание цифрового представление электрической сети и последующий анализ ее работы невозможен без правильной организации обмена информацией внутри системы контроля.

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

Схема сбора и передачи данных внутри системы контроля приведена на Рис. 3.

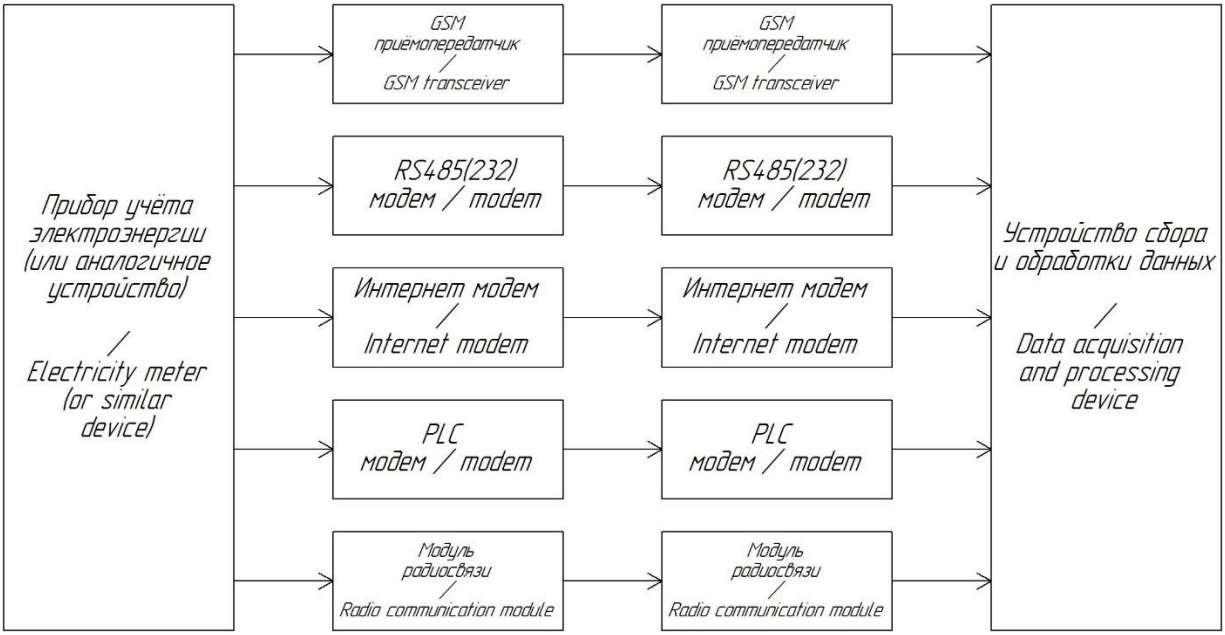


Рис. 3. Схема сбора и передачи данных

Данная схема подразумевает наличие приёмопередатчиков для всех используемых в рассматриваемых сетях каналов связи между устройствами сбора и передачи информации на стороне устройства сбора и обработки данных для обеспечения возможности принятия данных по любому из используемых конечными устройствами каналу связи. Нетрудно заметить, что обеспечение конечных устройств сбора и передачи информации оборудованием для возможности использования всех каналов связи необязательно и неэффективно. Оптимальной представляется возможность использовать 2–3 различных канала связи для передачи информации на устройство сбора и обработки данных.

Анализ эффективности работы электрической сети может проводиться как по формальным признакам (превышение показателей падения напряжения или утечки тока на элементе относительно пороговых значений), так и на основании проведения факторного анализа показателей работы электрической сети для данного режима работы.

Стоит отметить, что утечка тока может быть носить технологический или коммерческих характер. Технологические утечки тока (емкостные токи утечки на землю и утечки через изоляцию) обусловлены конструктивными параметрами сети, главным образом номинальным напряжением, а потому мало изменяются в процессе нормальной эксплуатации. Утечки тока коммерческого характера представляют собой

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

хищения электрической энергии путем неучтенного ее потребления независимо от точки присоединения к сети.

Показатель падения напряжения характеризует величину технических потерь электрической энергии на рассматриваемом элементе и представляет собой потери электрической энергии на нагрев проводников (потери на корону не рассматриваются в рамках данного научного исследования ввиду того, что исследуются распределительные сети низкого и среднего уровня напряжений). Повышение уровня технических потерь, приводящее к фиксации повышенного падения напряжения на элементе (участке) сети говорит о местном ухудшении проводимости элемента (нарушение части сечения проводника, ухудшение контакта в местах соединения).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данная система позволяет получать актуальную информацию о состоянии и эффективности работы электрической сети, а также выполнять цифровое представление рассматриваемой электрической сети, что позволяет значительно упростить и удешевить процесс определения мест возникновения в сети неучтенного потребления и участков с повышенными техническими потерями, снизить издержки компаний электросетевого комплекса, связанные с устранимыми коммерческими и повышенными техническими потерями.

Система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети обладает следующими основными свойствами:

– модульность (способность отдельных фрагментов системы оставаться независимыми, не теряя при этом в информативности и репрезентативности, данное свойство позволит системе контроля быть разделённой на части для детализации и анализа работы не всей сети в целом, а какой-либо ее части, что, в свою очередь, позволит эффективнее расходовать вычислительные мощности центрального обрабатывающего компьютера);

– гибкость (способность системы использовать в качестве источников информации различные устройства для сбора и передачи данных об электрических параметрах сети, например: приборы учёта электрической энергии; специализированные устройства для контроля параметров электрической энергии; датчики токов и напряжений в сети, иными словами, любые устройства, имеющие цифровой выход (или обеспеченные конвертером своего выходного сигнала в цифровой вид) и совместимый с центральным обрабатывающим компьютером канал связи;

– доступность для развития и улучшения (способность системы улучшаться и оптимизироваться с применением новых технологий за счет

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

использования в основе системы базовых законов электротехники и цифрового формата представления информации; в данном случае внедрение в широкое использование новых видов измерительных устройств или каналов связи не будет препятствием для развития системы контроля, а будет возможностью для ее развития);

– информативность (способность системы объективно характеризовать элементы сети набором отображаемых параметров элемента сети, что позволяет оценивать состояние элемента по формальным признакам и также делает возможным проведения полностью автоматического анализа электрической сети).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью создания возможности для автоматизированного проведения удаленного анализа электрических сетей разработана система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети, которая позволяет осуществлять мониторинг повышенных технических и коммерческих потерь в электрической сети.

Разработанная система контроля параметров электрической энергии в распределительной сети в полном объеме соответствует требованиям, заданным при постановке задачи данного научного исследования, а полученные свойства данной системы позволяют говорить о перспективах ее применения в построении умных сетей нового поколения «SmartGrid». Информативность отображаемых параметров отдельных элементов вкупе с простотой и интуитивностью анализа их состояния по формальным признакам позволят использовать данную систему для анализа распределительных сетей низкого и среднего уровня напряжений. [13, 14]

Очевидно, что повышенный уровень падения напряжения на элементе относительно аналогичных элементов, находящихся в схожих условиях, говорит о несоответствиях в техническом состоянии элемента (например, ухудшение контакта), что приводит к повышенных техническим потерям в сети, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на рентабельности деятельности электросетевой компании. Так, повышение величины падения напряжения на элементе на 0,1 В приводит к потерям, составляющим 13 руб. 93 коп. в год на каждый киловатт передаваемой мощности.

А повышенный уровень утечки тока на элементе говорит о наличии на данном участке электрической сети неучтённого потребления электрической энергии. Это может быть расход электрической энергии на собственные нужды подстанций и распределительных устройства, а также хищение электроэнергии. В последнем случае использование разработанной системы контроля позволит оперативно реагировать на

Received: 23.05.2020 Revised: 31.05.2020 Accepted: 30.06.2020
Поступил: 23.05.2020 Одобрена: 31.05.2020 Принята: 30.06.2020

возникающие несоответствия и устранять их (или обеспечивать коммерческим учетом), что также положительно отразится на операционной деятельности электросетевых компаний, так как неучтённое потребление каждого киловатт-часа электрической энергии учитывается как технические потери электроэнергии и является затратами электросетевой компании.

Еще одним направлением использовании может являться сбор статистики о величинах параметров электрической энергии в сети в различных ее точках при различных режимах ее работы (в том числе аварийных и послеаварийных) с целью накапливания архивных данных и последующем проведении факторного анализа величины потерь электрической энергии (как коммерческих, так и технических), так и причин возникновения различных технологических нарушений в период эксплуатации электрической сети [15–17].

На основании вышеизложенного можно заключить, что использование разработанной системы позволит совершить качественно новый шаг в цифровизации электрических сетей, что является на сегодняшний день приоритетным направлением развития для электросетевого сектора Российской Федерации и позволит получать и использовать информацию об опыте эксплуатации уже построенных электрических сетей для создания более эффективных вариантов уже на этапе проектирования, что позволит перевести в цифровой вид и автоматизировать работу с электрическими сетями на всем протяжении их жизненного цикла, начиная с этапа проектирования.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Указ Президента Российской Федерации №204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». [Decree of the President of the Russian Federation №204 of 7 May 2018. “O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda” (In Russ.)]. Доступно по: http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027. Ссылка активна на: 17.05.2021.

2. Концепция ПАО «Россети» «Цифровая трансформация 2030», 2018. – 31 с. [The concept of PJSC Rosseti “Tsifrovaya transformatsiya 2030”. 2018. 31 p. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf. Ссылка активна на: 17.05.2021.

3. Главные инженеры электросетевых компаний обсудили вопросы цифровизации

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

электрических сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. – М.: Издательство Кабель, 2018. – № 6 (51). – С. 12–15. [Glavnyye inzhenery elektrosetevykh kompaniy obsudili voprosy tsifrovizatsii elektricheskikh setey. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye*. Moscow: Izdatel'stvo Kabel'; 2018;6(51):12-15. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36456471. Ссылка активна на: 17.05.2021.

4. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 300 с. [Rogalev ND, editor. *Tsifrovaya energetika: novaya paradigma funktsionirovaniya i razvitiya*. Moscow: Publishing house MEI; 2019. 300 p. (In Russ.)]. Доступно по: http://nts-ees.ru/sites/default/files/cifrovaya_energetika_blok.pdf. Ссылка активна на: 17.05.2021.

5. Цыгулев Н.И., Хлебников В.К., Шелест В.А. и др. Цифровизация электрических сетей АПК на платформе интернета энергии / Материалы национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники». – 2019. – С. 327–328. [Tsygulev NI, Khlebnikov VK, Shelest VA, et al. Tsifrovizatsiya elektricheskikh setey APK na platforme interneta energii. Proceedings of the national scientific and practical conference “Actual Problems of Science and Technology”. 2019:327-328. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39451039. Ссылка активна на: 17.05.2021.

6. Белый В.Б. Модель процессов потребления электроэнергии коммунально-бытовым сектором в сельских электрических сетях / Материалы XVII международной научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век». – 2019. – С. 42–45. [Belyy VB. Model' protsessov potrebleniya elektroenergii kommunal'no-bytovym sektorom v sel'skikh elektricheskikh setyakh. Proceedings of the national scientific and practical conference “Energo- i resursosberezheniye – XXI vek”. 2019:42-45. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42256826. Ссылка активна на: 17.05.2021.

7. Казымов И.М., Компанеец Б.С. Методика определения требуемого числа устройств сбора и передачи информации для создания цифрового представления распределительной электрической сети низкого и среднего уровня напряжений // Вестник НГИЭИ. 2021. – № 1(116). – С. 41–53. [Kazymov IM, Kompaneets BS. Methodology for determining the required number of devices for collecting and transmission of information for creating a digital representation of a low and medium voltage distribution electric network. *Bulletin NGIEI*. 2021;1(116):41-53. (In Russ.)]. doi: 10.24411/2227-9407-2021-10004

8. Glauner P, Boechat A, Dolberg L, et al. Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets. Proceedings of the IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT; 2016. doi: 10.1109/isgt.2016.7781159

9. Kochneva E, Sukalo A. Impact of technical losses calculation method on bad data validation on the basis of a posteriori analysis. Proceedings of the IEEE International Energy Conference, ENERGYCO; 2016. doi: 10.1109/energycon.2016.7513899

10. Chatterjee S, Archana V, Suresh K, et al. Detection of non-technical losses using

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

advanced metering infrastructure and deep recurrent neural networks. Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC / I and CPS Europe. 2017. doi: 10.1109/eeeic.2017.7977665

11. Henriques HO., Correa MRLS. Use of smart grids to monitor technical losses to improve non-technical losses estimation. Proceedings of the 7th Brazilian Electrical Systems Symposium. 2018:1-6. doi: 10.1109/sbse.2018.8395924

12. Queiroz LMO. Lyra C. Adaptive hybrid genetic algorithm for technical loss reduction in distribution networks under variable demands. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2009;24(1):445-453. doi: 10.1109/tpwrs.2008.2009488

13. Trevizan RD, Rossoni A, Bretas AS, et al. Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. Proceedings of the IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech. 2015. doi: 10.1109/ptc.2015.7232685

14. Ramos CCO, Souza AN, Papa JP, Falcão AX. Fast non-technical losses identification through Optimum-Path Forest. Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, ISAP '09; 2009. doi: 10.1109/ISAP.2009.5352910

15. Тиньгаев А.В., Шевченко А.А. Оптимизация протяжённости линий электропередач при подключении сельскохозяйственных потребителей с использованием WEB-технологий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – №4 – С. 186–191. [Tin'gayev AV, Shevchenko AA. Optimizatsiya protyazhonnosti liniy elektroperedach pri podklyuchenii sel'skokhozyaystvennykh potrebiteley s ispol'zovaniyem WEB-tekhnologiy. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;4:186-191. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34900729. Ссылка активна на: 17.05.2021.

16. Arahna Neto EAC, Coelho J. Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. *Electric Power Systems Research*. 2013;97:93-99. doi: 10.1016/j.epsr.2012.12.008

17. Mondenero I, Biscarri F, León C, et al. Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2012;34(1):90-98. doi: 10.1016/j.ijepes.2011.09.009

Сведения об авторах:
Казымов Иван Максимович, аспирант;
eLibrary SPIN: 8464-5810; ORCID: 0000-0001-6873-0315; Scopus ID: 57209794071;
E-mail: bahek1995@mail.ru
Компанеец Борис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 7371-4290; ORCID: 0000-0001-5980-1230; Scopus ID: 57209796863;
E-mail: kompbs@mail.ru
Дробязко Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 4902-6649; ORCID: 0000-0001-6826-561X; Scopus ID: 57207346047;
E-mail: drolnik@list.ru

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

Information about the authors:
Ivan M. Kazymov, postgraduate;
eLibrary SPIN: 8464-5810; ORCID: 0000-0001-6873-0315; Scopus ID: 57209794071;
E-mail: bahek1995@mail.ru
Boris S. Kompaneets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 7371-4290; ORCID: 0000-0001-5980-1230; Scopus ID: 57209796863;
E-mail: kompbs@mail.ru
Oleg N. Drobyazko, Doctor of Technical Sciences, Professor;
eLibrary SPIN: 4902-6649; ORCID: 0000-0001-6826-561X; Scopus ID: 57207346047
E-mail: drolnik@list.ru

Цитировать:
Казымов И.М., Компанеец Б.С., Дробязко О.Н. Разработка системы контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 106–118. doi: 10.17816/transsyst202172106-118

To cite this article:
Kazymov IM, Kompaneets BS, Drobyazko ON. Development of a system for control of electric energy parameters in the distribution network. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):106-118. doi: 10.17816/transsyst2021721106-118

Received: 23.05.2020 **Revised: 31.05.2020** **Accepted: 30.06.2020**
Поступил: 23.05.2020 **Одобрена: 31.05.2020** **Принята: 30.06.2020**

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 537.312.62
DOI 10.17816/transsyst202172119-129

© Ю. Ф. Антонов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ГЕТЕРОПОЛЯРНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ЛЕВИТАЦИИ И ЛИНЕЙНОЙ ТЯГИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Обоснование: Излагаются методы расчета и элементы технологии создания гетерополярных магнитных систем левитации, боковой стабилизации и ротора-бегуна тягового линейного синхронного двигателя для развития транспортной технологии «Российский Маглев» с целью достижения повышенного левитационного зазора 0,2 м, снижения пороговой скорости движения транспортного средства выхода в режим левитации до 10 км/ч.

Цель: разработать методы расчета и проектирования гетерополярных полюсов из элементарных постоянных магнитов, однотипных катушек на базе композитных низкотемпературных сверхпроводников и ленточных высокотемпературных сверхпроводников второго поколения и пошаговую технологию их производства.

Задачи:

1. создание бортовой магнитной системы левитации и боковой стабилизации, позволяющей обеспечить левитационный зазор 0,2 м, пороговое значение скорости транспортного средства 10 км/ч при переходе в режим левитации, уменьшить магнитные поля рассеяния до уровня естественного поля земного магнетизма 50 мкТл;
2. создание ротора-бегуна линейного синхронного двигателя с безжелезным статором мощностью 10 МВт.

Методы: излагаются основные методологии расчетов: «анализ» и «синтез». Методология «анализ» примняется в решении «прямой» задачи расчета, когда задается конфигурация магнитной системы и рассчитывается магнитное поле в рабочей зоне, а, при необходимости, магнитные поля рассеяния. Данную методологию эффективно применять при наличии опыта создания магнитных систем. В противном случае применяется методология «синтез» для решения «обратной» задачи расчета, в которой задается картина распределения магнитного поля в рабочей зоне и находится (синтезируется) конфигурация магнитной системы.

Результаты выполненного исследования:

1. Проанализированы параметры и характеристики высокоэнергетических постоянных магнитов из редкоземельных металлов, низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводниковых обмоточных материалов, произведен выбор постоянных магнитов и сверхпроводникового обмоточного материала;
2. Выполнены расчеты магнитной системы из постоянных магнитов в «сборке Хальбаха» и в традиционной сборке в зубчатом ферромагнитном сердечнике;

Received: 20.05.2021 **Revised:** 20.05.2021 **Accepted:** 30.06.2021
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена:** 20.05.2021 **Принята:** 30.06.2021

3. Выполнены расчеты трековой катушки с прямоугольным поперечным сечением обмотки;

4. Разработаны методы расчета и оптимизации сверхпроводниковых магнитных систем из набора однотипных трековых модулей;

Выводы: Результаты выполненных фундаментальных исследований позволят приступить к расчету, проектированию и строительству конвейерно-магистральных пассажирских и грузовых линий магнитолевитационного транспорта, а также городского общественного транспорта.

Ключевые слова: узел левитации, линейный двигатель, постоянный магнит, сверхпроводник, трековый модуль.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© Yu. F. Antonov
Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I
(St. Petersburg, Russia)

CALCULATION, DESIGN AND MANUFACTURE OF HETEROPOLAR MAGNETIC LEVITATION AND LINEAR DRIVE SYSTEMS OF MAGLEV TRANSPORT

Background: The methods of calculation and elements of the technology for creating heteropolar magnetic systems of levitation, lateral stabilization and a rotor-runner of a traction linear synchronous motor for the development of the transport technology "Russian Maglev" in order to achieve an increased levitation gap of 0.2 m, reduce the threshold speed of the exit vehicle in levitation mode up to 10 km/h.

Aim: to develop methods for calculating and designing heteropolar poles from elementary permanent magnets, coils of the same type based on composite low-temperature superconductors and high-temperature tape superconductors of the second generation and a step-by-step technology for their production.

Tasks:

1.Creation of an on-board magnetic system of levitation and lateral stabilization, allowing to provide a levitation gap of 0.2 m, a threshold value of vehicle speed of 10 km/h when transition to levitation mode, to reduce stray magnetic fields to the level of the natural field of terrestrial magnetism of 50 μT;

2. Creation of a rotor-runner of a linear synchronous motor with an ironless stator with a power of 10 MW.

Methods: outlines the main calculation methodologies: "analysis" and "synthesis". The "analysis" methodology is adopted in solving the "direct" calculation problem, when the configuration of the magnetic system is set and the magnetic field in the working area is calculated, and, if necessary, the stray magnetic fields. This methodology can be effectively applied if there is experience in creating magnetic systems. Otherwise, the "synthesis" methodology is applied, which is used in solving the "inverse" calculation problem, in which the picture of the distribution of the magnetic field in the working zone is set and the configuration of the magnetic system is found (synthesized).

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Results of the study performed:

1. The parameters and characteristics of high-energy permanent magnets made of rare-earth metals, low-temperature and high-temperature superconducting winding materials have been analyzed, the choice of permanent magnets and superconducting winding material has been made;

2. Calculations of the magnetic system of permanent magnets in the "Halbach assembly" and in the traditional assembly in a toothed ferromagnetic core have been carried out;

3. Calculations of a track coil with a rectangular cross-section of the winding are performed;

4. Methods for calculating and optimizing superconducting magnetic systems from a set of similar track modules have been developed;

Conclusions: The results of the performed fundamental research will allow starting the calculation, design and construction of conveyor-main passenger and freight lines of maglev transport, as well as urban public transport.

Key words: levitation unit, linear motor, permanent magnet, superconductor, track module.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Магнитная цепь бортовых полюсов левитации и линейной тяги [1] с постоянными магнитами представляет собой непосредственно постоянные магниты и конструктивные детали: в «сборке Хальбаха» - маломагнитные нержавеющие трубы, в традиционной сборке – зубчатый ферромагнитный сердечник. Конструктивные детали способствуют направлению магнитного потока в рабочий зазор. При этом возникают нежелательные магнитные потоки рассеяния. Вследствие этого магнитная цепь состоит из основного потока намагничивания и потока рассеяния внешнего и внутреннего, имеющегося в самом постоянном магните.

Поскольку высокоэнергетические постоянные магниты из редкоземельных металлов имеют большую стоимость, необходимо минимизировать объем элементарных постоянных магнитов.

Спеченный постоянный магнит на основе сплава NdFeB (неодим-железо-бор) по сравнению с магнитами другого типа обладает более высокой эффективностью и малым отношением энергетических параметров к цене.

Магниты NdFeB значительно превосходят по магнитной индукции ферритовые магниты Fe–Ba, Fe–Sr или широко применяемые магниты ЮНДК (AlNiCo). Они имеют плотность энергии в 8–10 раз выше, чем ферритовые магниты. Постоянные магниты NdFeB обладают наибольшей магнитной силой из всех постоянных магнитов, известных науке и производству в настоящее время. Магнитная индукция магнитов NdFeB 1,15–1,45 Тл. Теоретический предел магнитной индукции материала

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

NdFeB ~1,6 Тл. Магниты NdFeB значительно превосходят по устойчивости к размагничиванию. Потеря магнитных свойств магнитов NdFeB во времени составляет ~2 % в 5 лет.

Для исследований выбраны магниты марки N35U, которые имеют следующие параметры: Br>1,17 Тл, Hcb=868 кА/м; Hcj > 955 кА/м; $(BH)_{max}$ > 263 кДж/м^3; Диапазон рабочих t: от –60 до + 80^{0}C.

Для создания эффективных гетерополярных систем, состоящих из элементарных магнитов, важным свойством элементарных магнитов является наличие у них высокой коэрцитивной силы. Это позволяет сбалансировать магнитную систему и достигнуть большей устойчивости к размагничивающим факторам.

Спроектированный гетерополярный магнитный полюс имеет габариты 0,5×0,5 м. и массу 45 кг. Он состоит из пяти модульных магнитов, представляющих собой тонкостенные (1,5 мм) трубы из маломагнитной нержавеющей стали с установленными в них десятью элементарными магнитами NdFeB с габаритами 46×46×46 мм (Рис. 1).

Элементарные постоянные магниты монтируются в виде модулей. Магнитные модули скреплены между собой шпильками из нержавеющей стали (Рис. 2).

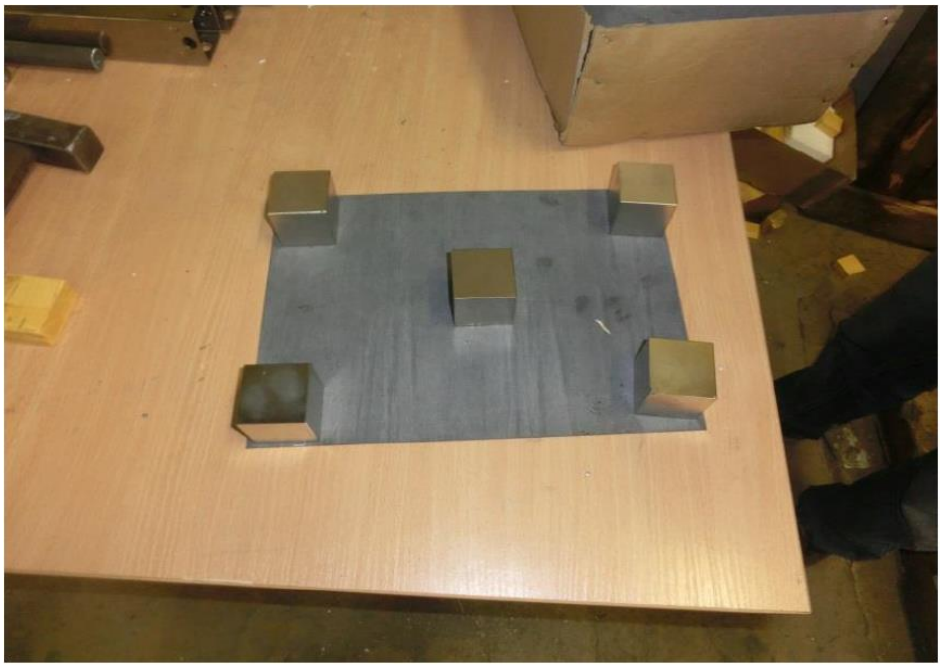


Рис.1. Элементарные постоянные магниты

Received: 20.05.2021 Revised: 20.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 20.05.2021 Одобрена: 20.05.2021 Принята: 30.06.2021

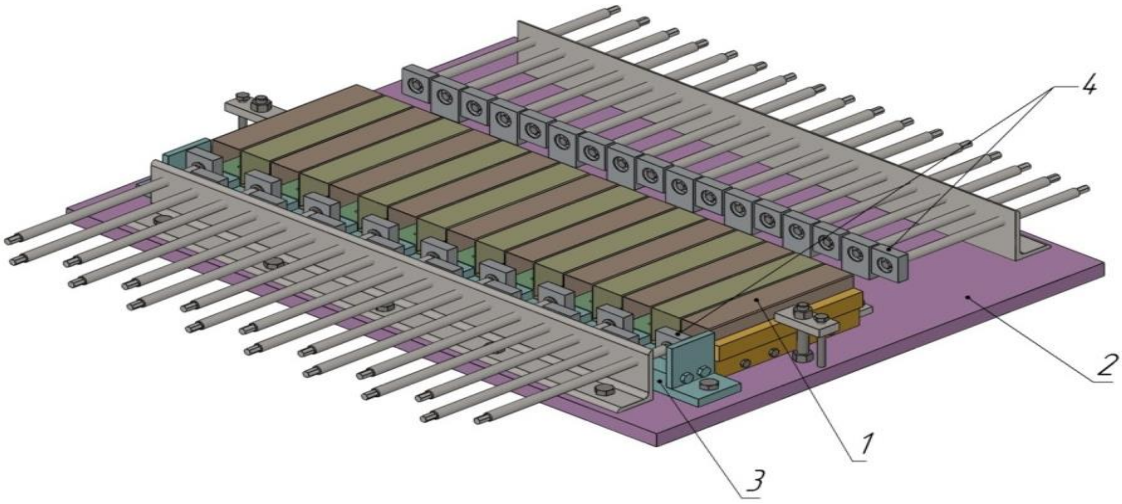


Рис. 2. Технологическая оснастка для установки магнитов
1 – немагнитный корпус магнитного модуля,
2 – несущая конструкция гетерополярного полюса,
3 – заглушка,
4 – поршень толкателя

На Рис. 3 представлены результаты расчета распределения магнитного поля, создаваемого гетерополярной магнитной системой на базе постоянных магнитов.

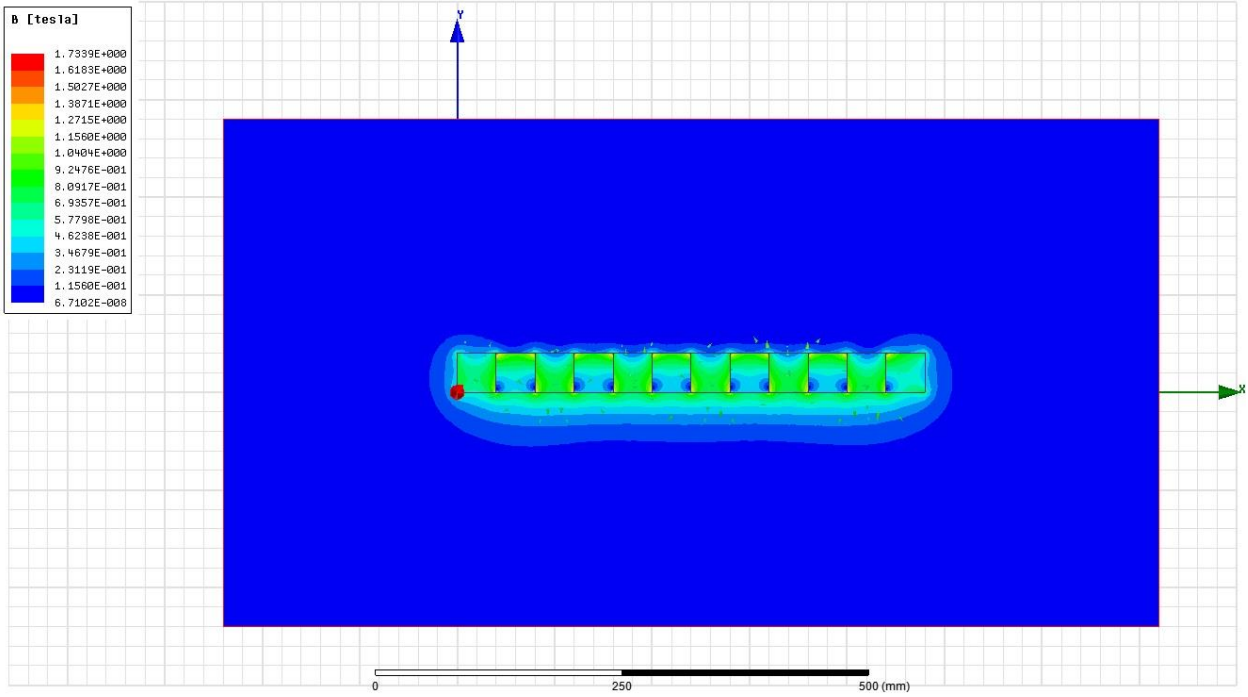


Рис. 3. Линии равного магнитного потенциала поля, создаваемого бортовым гетерополярным магнитным полюсом из однотипных элементарных постоянных магнитов с зубчатым ферромагнитным сердечником и без использования зубчатого ферромагнитного сердечника в так называемой «сборке Хальбаха»

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Одним из важных условий расчета и проектирования сверхпроводниковых магнитных систем является необходимость учета: (а) в сильных магнитных полях – зависимости критического тока сверхпроводникового обмоточного материала от индукции создаваемого магнитного поля, (б) в слабых магнитных полях – диамагнетизма используемого сверхпроводника, влияющего на индуктивность обмотки и механизм проникновения поля в сверхпроводник [2]. Условие (а) предполагает выполнение расчета магнитного поля не только в рабочем объеме, но и в области, занимаемой обмоткой. Магнитное поле в наиболее неблагоприятном месте обмотки не должно превосходить критическое значение.

Так как сверхпроводниковые обмоточные материалы значительно дороже традиционных проводниковых материалов, то проектирование магнитной системы должно предусматривать снижение расхода сверхпроводника.

В общем случае задачей расчета магнитного поля постоянных токов является нахождение по заданному распределению тока I вектора магнитной индукции $\vec{B}$ или вектора напряженности поля $\vec{H}$ во всех точках пространства, включая область протекания тока. Электромагнитное поле определяется полной системой уравнений Максвелла и уравнений связи. В задачах магнитостатики эти уравнения можно записать через потенциальные функции, что упрощает нахождение их решения, применяя теорию потенциала.

Магнитное поле исчерпывающе описывается векторным магнитным потенциалом $\vec{A}$, поскольку он существует во всем пространстве, а $\vec{B}$ = rot $\vec{A}$. В области, где нет тока, в расчетах можно использовать скалярный магнитный потенциал U_M, и $\vec{H}$ = - grad U_M. Дифференциальные уравнения магнитного поля для потенциальных функций представляют собой уравнения Пуассона и Лапласа, соответственно:

$$\Delta^2 \vec{A} = \mu\delta$$

$$\Delta^2 U_M = 0.$$

В отсутствие ферромагнитного сердечника или экрана и в предположении, что материал обмотки является парамагнетиком (эффект Мейсснера и процесс проникновения магнитного поля в сверхпроводник, в первом приближении, не рассматриваются), приходим к задаче расчета магнитного поля в однородной среде. Областью задания тока как функции

Received: 20.05.2021 Revised: 20.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 20.05.2021 Одобрена: 20.05.2021 Принята: 30.06.2021

координат является обмотка. Для упрощения расчета и анализа влияния параметров магнитной системы на ее характеристики дискретное распределение тока заменяется равномерным по сечению обмотки. Наличие электрической изоляции и пустот учитывается через коэффициент заполнения по намотке $k = \frac{V_1}{V_1 + V_0}$, где V_1, V_0 - соответственно объемы проводника и пространства, занятого обмоткой. В результате получаем непрерывную функцию пространственного распределения тока *I*.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

При проектировании магнитных систем, в зависимости от опыта, предлагаются две основные методологии расчетов: (А) «анализ» и (С) «синтез». Методология (А) «анализ» заключается в том, что задается конфигурация магнитной системы и рассчитывается магнитное поле в рабочей зоне, и, при необходимости, магнитные поля рассеяния. В данном случае решается «прямая» задача расчета. В методологии (С) «синтез», наоборот, задается картина распределения магнитного поля в рабочей зоне и находится (синтезируется) конфигурация магнитной системы, т.е. решается «обратная» задача расчета.

Сверхпроводниковая обмотка левитации и боковой стабилизации должна создавать вертикальное магнитное поле с заданной индукцией *B* в области расположения путевой обмотки левитации. Наиболее подходящей в электромагнитном отношении и по технологичности является трековая конфигурация составляющих обмотку катушечных модулей (Рис. 4). При значительном превышении длины катушки над ее шириной короткие (торцевые) стороны катушки вносят значительно меньший вклад в магнитное поле, чем ее длинные стороны. Однако на торцевые участки требуется до 40 % обмоточного материала, идущего на изготовление всей катушки. Данный факт следует непременно учитывать при проектировании бортовых магнитных систем. Близким геометрическим аналогом трековой является прямоугольная катушка. Поэтому расчетные методики разработаны в основном для прямоугольных и трековых катушек.

Модули бортовой магнитной системы левитации могут располагаться длинными сторонами в направлении [3] или перпендикулярно направлению движения транспортного средства.

В первом случае бортовая магнитная система левитации имеет большой полюсный шаг, около 1 м, вследствие чего транспортное средство переходит в режим левитации при высокой скорости – порядка 100 км/ч.

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

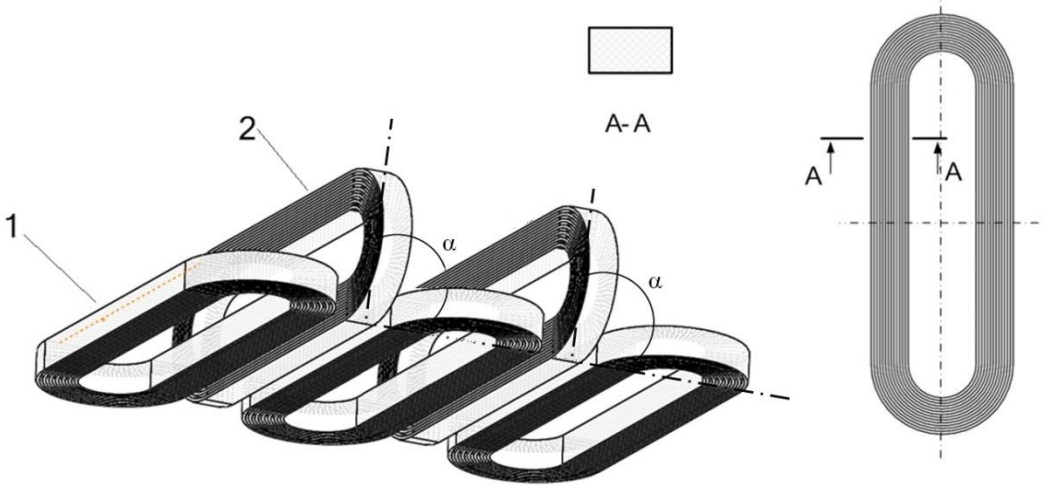


Рис. 4. Магнитная система из однотипных сверхпроводниковых трековых модулей

Для снижения порогового значения скорости выхода в режим левитации необходимо модули располагать длинными сторонами перпендикулярно направлению движения транспортного средства, уменьшая тем самым полюсный шаг. Так, для достижения пороговой скорости 10 км/ч полюсный шаг должен быть в 10 раз меньше, чем в японском проекте [2]. Как правило, в трековых катушках соотношение размеров длинной и торцевой сторон близки такому значению.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Полюсный шаг. С целью снижения пороговой скорости движения магнитолевитационного транспортного средства при переходе в режим левитации бортовой магнитный полюс левитации и боковой стабилизации должен выполняться с малым полюсным шагом, т.е. быть гетерополярным. Гетерополярную конструкцию бортового магнитного полюса левитации и боковой стабилизации проще всего изготовить на базе постоянных магнитов. Возможны два варианта исполнения бортового магнитного полюса левитации и боковой стабилизации: а) с зубчатым ферромагнитным сердечником, б) без ферромагнитного сердечника. В силовом магнитном отношении оба варианта сборки практически одинаковы. Тем не менее, вариант сборки с ферромагнитным сердечником позволяет на 1/3 сократить количество потребных элементарных постоянных магнитов.

Несмотря на высокие энергетические параметры постоянных магнитов, в частности, из редкоземельных металлов, например, NdFeB, для получения магнитных полей наиболее высокой интенсивности в рабочем

Received: 20.05.2021 Revised: 20.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 20.05.2021 Одобрена: 20.05.2021 Принята: 30.06.2021

левитационном зазоре требуется применять сверхпроводниковые обмотки бортовых полюсов.

2. Выбор сверхпроводникового обмоточного материала. Бортовая сверхпроводниковая обмотка полюса левитации и боковой стабилизации работает в поле вертикальных и боковых сил при наличии вибраций. Во время разгона, торможения и движения на крейсерской скорости транспортного средства на обмотку действуют электромагнитные силы, вызванные реакцией «якоря» - путевой короткозамкнутой обмотки (реактивной шины или беличьей клетки) и переменные магнитные поля широкого спектра частот (особенно высших гармонических составляющих).

Поэтому от выбора сверхпроводникового обмоточного материала, конструкции сверхпроводниковой обмотки, способа ее замоноличивания (синоним: капсулирования) и крепления в криостате, создания надлежащей радиально-аксиальной системы каналов для однофазных и двухфазных потоков криоагента, зависит эффективная и надежная работа узла левитации и боковой стабилизации.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Сверхпроводниковые магнитные системы как с ферромагнитным сердечником, так без него обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными магнитными системами, выполненными, например, из медных или алюминиевых проводов. Их масса и габариты (даже с учетом криостата и системы криогенного охлаждения) примерно в два раза меньше, чем у обычных магнитных систем. Это преимущество обеспечивается за счет высокой конструктивной (средней по сечению) плотности тока в сверхпроводниковой обмотке, которая может составлять $\delta = 10^8 \div 10^9$ А/м^2. Следствием высокой плотности тока является возможность получения высоких магнитных полей в рабочей зоне, до 20 Тл и более. Практическое отсутствие активного сопротивления сверхпроводниковой обмотки (кроме контактных соединений) существенно снижает потребление электроэнергии на собственные нужды магнитной системы. Электроэнергия расходуется только ожижителем/рефрижератором/криокулером (и, если он предусмотрен, компрессором).

В традиционных магнитных системах электроэнергия, подводимая к обмотке, прямо пропорциональна квадрату магнитной индукции поля в рабочем объеме. В сверхпроводниковой магнитной системе количество потребляемой криогенной установкой электроэнергии не зависит от создаваемого магнитного поля.

Received: 20.05.2021 Revised: 20.05.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 20.05.2021 Одобрена: 20.05.2021 Принята: 30.06.2021

Сверхпроводниковая магнитная система может работать в режиме «незатухающего тока» (синонимы: «замороженного потока», «замороженного тока»). Это обусловлено фундаментальным свойством сверхпроводящего контура – сохранять неизменным магнитный поток, сцепленный с ним. Переход в режим незатухающего тока осуществляется после начального заведения тока от внешнего источника питания, расположенного вне криостата. С достижением номинального тока сверхпроводниковая обмотка замыкается накоротко. Для этой цели, как правило, служит управляемый криотрон. Гальванические токовводы в том случае, когда они выполнены разъемными, демонтируются. Наиболее эффективным средством обеспечения данного режима является использование сверхпроводникового топологического генератора или преобразователя криотронного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гетерополярные магнитные системы узла левитации и боковой стабилизации на базе высокоэнергетических постоянных магнитов или комбинации однотипных сверхпроводниковых модулей применяются в транспортной технологии «Российский Маглев». За счет этого технического решения транспортная технология «Российский Маглев» стала эффективнее существующих технологий, поскольку позволяет достичь повышенного левитационного зазора вплоть до 0,2 м и многократно уменьшить до 10 км/ч пороговую скорость выхода в режим левитации транспортного средства.

Результаты выполненных фундаментальных исследований позволяют приступить к расчету, проектированию и строительству конвейерно-магистральных пассажирских и грузовых линий магнитолевитационного транспорта, а также городских маглев-линий общественного транспорта.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Библиографический список / References

1. Kim KK, Panychev AY, Blazhko LS, Rybin PK. Properties of a Synchronous Machine with Self-Regulating Magnetic Suspension of the Rotor when Its Axis Is Skewed. *Russian Electrical Engineering*. 2020;91(10):597-603 doi: 10.3103/S1068371220100053
2. Сан-Жам Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода / под ред. А.А. Абрикосова. – М.: Мир, 1970. 364 с. [Saint-James D, Sarma G, Thomas EJ. *Type II Superconductivity.* Moscow: Mir; 1970. 364 p. (In Russ.)].

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

3. Kazuo Sawada. Technological Development of the Superconducting Magnetically Levitated Train. *Japanese railway engineering*. 2008;(160):2-5.

Сведения об авторе:
Антонов Юрий Федорович, д.т.н.;
SPIN-код: 2335-5765; ORCID: 0000-0002-6910-1622;
E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Information about author:
Yuri F. Antonov, Doctor of Technical Sciences;
SPIN-код: 2335-5765; ORCID: 0000-0002-6910-1622;
E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Цитировать:
Антонов Ю.Ф. Расчет, проектирование и производство гетерополярных магнитных систем левитации и линейной тяги магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 119–129. doi: 10.17816/transsyst202172119-129

To cite this article:
AntonovYuF. Calculation, design and manufacture of heteropolar magnetic levitation and linear drive systems of maglev transport. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):119-129. doi: 10.17816/transsyst202172119-129

Received: 20.05.2021 **Revised: 20.05.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 20.05.2021 **Одобрена: 20.05.2021** **Принята: 30.06.2021**

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 656.078
DOI 10.17816/transsyst202172130-141

© В. В. Ющенко[1], В. Е. Храпов[2]
[1] Исследователь
(Мурманск, Россия)
[2] Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»
(Апатиты, Россия)

КОНЦЕПЦИЯ «КОНСИДЕНТАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ» КАК МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Обоснование: Формирование механизмов устойчивого развития транспортной системы России должно быть направлено на повышение ее конкурентоспособности.

Цель: Разработка технико-экономических основ повышения эффективности транспортной системы России, на примере железнодорожного транспорта.

Методы: Для достижения поставленной цели были использованы теоретические методы научного исследования: анализ, синтез и моделирование.

Результаты: Предложена оригинальная концепция «консидентальных перевозок грузов» с необходимостью технической модернизации грузовых вагонов. Анализируются понятия консидентального маршрута и консидентального вагона, рекомендуется применение математического аппарата для экономической оценки результатов.

Ключевые слова: концепция консидентальных перевозок грузов, развитие эффективности транспортной системы, железнодорожный транспорт, моделирование грузовых перевозок, повышение конкурентоспособности, конкуреноспособность.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© V. V. Yushchenko[1], V. E. Khrapov[2]
[1] Researcher
(Murmansk, Russia).
[2] Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”
(Apatity, Russia)

THE CONCEPT OF "COINCIDENTAL CARGO TRANSPORTATION" AS A MECHANISM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF RAILWAY TRANSPORT

Received: 12.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 12.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

Background: The formation of mechanisms for sustainable development of the transport system of Russia should be aimed at improving its competitiveness.

Aim: Development of technical and economic foundations for improving the efficiency of the transport system of Russia, on the example of railway transport.

Methods: Theoretical methods of scientific research were used to achieve the goal: analysis, synthesis and modeling.

Results: The original concept of "Coincidental freight transportation" with the necessity of technical modernization of freight cars is offered. The concepts of a coincidental route and a coincidental wagon are analyzed, and application of the mathematical apparatus for economic evaluation of the results is recommended.

Key words: Concept of coincidental freight transportation, development of transport system efficiency, railway transport, freight transportation modelling, increasing competitiveness, competitiveness.

ВВЕДЕНИЕ

Российский бизнес, в текущий момент, в период экономико-медицинского шторма, вызванного коронавирусом COVID-19, предпринимает огромные усилия по повышению эффективности. Одним из направлений повышения эффективности бизнеса является снижение затрат в базовых отраслях экономики, а именно в отечественной транспортной системе, которая может обеспечить устойчивое развитие других отраслей экономики, для роста конкурентоспособности России на международном рынке, гарантирования национальных интересов Российской Федерации и обеспечения экономической безопасности страны.

Различные виды транспорта конкурируют между собой, и конкуренция является внутриотраслевой, при том, что каждый вид транспорта представляет собой самостоятельный сектор экономики. Транспорт, как одна из главных отраслей отечественной экономики, может и должен формировать и использовать механизмы устойчивого развития.

Особая роль в транспортной системе принадлежит железнодорожному транспорту, который круглосуточно и круглогодично перевозит грузы, независимо от климатических условий или геологических особенностей.

СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

Анализ и синтез понятий «пространство» и «экономика», и их теоретическое моделирование, имеет богатое историко-научное наследие. В античной науке Платон предлагает понятие геометрического пространства, что имело важное значение для эволюции науки [1]. Платон

Received: 12.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 12.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

первым отделил сознательное пространство от его наполнения. Свои суждения по определению пространства имели такие древние философы, как Аристотель, Левкипп, Эпикур.

Мировая торговля изначально опиралась на конкурентные преимущества отдельных стран, основанные на географических и климатических условиях: шелк и чай из Китая, сладкие вина из Греции, пушнина из России. С ходом развития цивилизации, растут экономические связи между государствами. Вид и место хозяйственной деятельности рыночных агентов определяются географическими условиями, происходит нарастание удельного веса экономических условий (сравнительные издержки производства и распределения, объем и динамика спроса) [2].

Исследование экономического пространства проводит Иоганн фон Тюнен, который предложил модель изолированного государства, в которой размещение сельскохозяйственного производства происходит в зависимости от места сбыта продукции (начало XIX в.). Альфред Вебер представил теорию промышленного штандорта, где размещение производства определяется по принципу наименьших издержек, включая транспортные (начало XX в.). В 1930-х гг. появляется теория центральных мест, основоположником которой является Вальтер Кристаллер, в которой исследуются функции и пространственные соотношения в расположении населенных пунктов (XX в.) [3].

Даниель Фридрих Лист предложил теорию национальной экономики, согласно которой преимущества получают страны (союзы), располагающие большими территориями [3].

В 1821 г. Джордж Стивенсон, построивший несколько паровых машин для работы на шахте Киллингворта, узнал, что промышленник Эдвард Пиз намеревается построить 8-мильную (12,9-километровую) линию от Стоктона на побережье до Дарлингтона для разработки богатой угольной жилы, используя конную тягу. Стивенсон пояснил Пизу, что паровая машина может тянуть в 50 раз больше нагрузки, чем лошади по железным рельсам. Впечатленный, Пиз согласился позволить Стивенсону экипировать свою линию. Первый поезд на паровой тяге был отправлен 27 сентября 1825 г. из Дарлингтона в Стоктон (Англия), и во всем мире эта дата считается датой создания железных дорог [4].

Первым обосновал идею строительства железной дороги в Соединенных Штатах полковник Джон Стивенс в 1812 году, в сборнике работ под названием «Документы, доказывающие превосходящие преимущества железных дорог и паровых вагонов перед судоходством по каналам» [5].

Гранитная железная дорога, первая зафрахтованная железная дорога в Соединенных Штатах, была спроектирована и построена инженером

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

Гридли Брайантом и начал работу 7 октября 1826 года, протянувшись на три мили от Куинси, штат Массачусетс, до реки Непонсет. Деревянные перила были покрыты железом и проложены на расстоянии 5 футов (1,5 м) друг от друга. Конные повозки с колесами диаметром 6 футов (2 м) тянули по этим рельсам к реке блоки гранита, откуда они были доставлены баржей в Чарлстаун в Бостоне, штат Массачусетс, для использования в строительстве памятника Банкер-Хилл [6].

Первым регулярным перевозчиком пассажиров и грузов была железная дорога Балтимора и Огайо, построенная 28 февраля 1827 года. Перевозки начались в 1830 году на 14-мильном участке пути между Балтимором и Элликоттом, штат Мэриленд. Железная дорога стала одной из крупнейших в Америке благодаря многочисленным слияниям [7].

Эта отрасль будет иметь огромное влияние на страну в экономическом, культурном и политическом отношении. Радикально расширилась личная мобильность. Экономика США начала стремительно расти. В 1860 году по железным дорогам перевезено 3,2 млрд тонно-миль грузов. К 1900 году уже 141 миллиард тонно-миль – ошеломляющее увеличение в 44 раза. Грузооборот железных дорог США с 1860 по 1900 гг представлен в Табл. 1.

Таблица 1. Грузооборот на железных дорогах США [8]

Год	Тонно-мили, млрд
1860	3,2
1870	9,0
1880	32,3
1890	79,1
1900	141,1

Открытие первой в России железной дороги на участке Санкт-Петербург – Царское Село, состоялось 11 ноября 1837 года, эта дата считается днем создания Российских железных дорог [9].

Исследованием деятельности транспорта и эффективности его развития, занимались такие известные деятели: Дж. Стовер, Л. Дженкс, В. Осс, Р. Браун, Р. Фогель, С. Голдсмиш, Р. Питман, Л. Томпсон.

Отечественная школа исследований представлена работами авторов: Л.В. Канторович, А.Г. Гранберг, В.Г. Галабурда, В.А. Персианов, А.А. Тимошин, Д.А. Мачерет, Б.М. Лапидус, А.А. Зайцев, А.С. Даукша, и другие. А.Г. Гранберг полагает, что «предметом пространственной экономики являются не только регионы и региональные системы, но и все пространственные формы хозяйства и расселения, включая множество пространственных сетей» [10].

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

А.Н. Головаш и Н.Б. Куршакова анализируют состояние и проблемы локомотивного комплекса ОАО «Российские железные дороги» и обосновывают применение вида ремонта оборудования локомотивов по техническому состоянию для повышения эффективности железнодорожного транспорта [11].

Для повышения качества использования подвижного состава, авторы С.К. Тевс, Е.В. Дубровская обращаются к логистическому аутсорсингу в транспортном бизнесе [12].

Исследовательскую деятельность по анализу пространственной экономической деятельности активно ведут современные исследователи [13–15].

Выбор в качестве объекта исследования транспортной системы обусловлен ролью транспорта, как одним из условий успешного функционирования всей экономики, оказывающем активное воздействие на развитие производства страны и каждого предприятия, особенно его железнодорожной составляющей.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОСТРАНСТВА

В современном мире роль информации неизмеримо возросла. Информация представляет собой движущую силу, которая определяет развитие технологий и распределения ресурсов. Новые идеи, концепции, гипотезы и теории обеспечивают развитие процессов глобализации и интеграции, как в мире, так и в каждой стране.

По мнению авторов Б.М. Лапидус , Д.А. Мачерет исследовать транспортную систему необходимо с точки зрения всего пространства, определенного авторами транспортным пространством, а в рамках общей концепции транспортного пространства выработать категориальный аппарат для пространственной характеристики инфраструктуры и подвижного состава. Для пространственной характеристики инфраструктуры железнодорожного транспорта, Б.М. Лапидус, Д.А. Мачерет вводят понятие «пространственный потенциал железнодорожной инфраструктуры» (далее – ППЖИ). Подчеркивается различие между транспортным пространством железных дорог и пространством железнодорожной инфраструктуры. Первое понятие охватывает все уровни транспортного пространства, включая пространство движения поезда, а второе – только внешний уровень, в рамках которого располагаются остальные. Другими словами, пространство железнодорожной инфраструктуры задает внешний контур транспортного пространства железных дорог (далее – ТПЖД), рассчитываемое

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

произведением площади, ограниченными габаритами приближения строений, на длину железнодорожных линий [16].

Габарит приближения строений это предельное поперечное перпендикулярное оси железнодорожного пути очертание, внутрь которого не должны заходить никакие части сооружений и устройств [17].

В развитие концепции транспортного пространства, предлагается расширить существующую терминологию и предложить концепцию «консидентальных перевозок» (от английского слова «coincide» – совпадать).

КОНЦЕПЦИЯ «КОНСИДЕНТАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ»

Продукция транспортной отрасли – перевозка грузов и пассажиров. Современные транспортные схемы перевозок невероятно усложнились, стали взаимозависимыми. Для России с ее огромной территорией роль транспортной отрасли имеет стратегическое значение для устойчивого экономического роста. От эффективности транспорта зависит эффективность работы других отраслей промышленности, следовательно, и экономическое благосостояние страны. Экономическое положение России определяется экономическим положением каждого из регионов. Поиск новых способов погрузки, перевозки и выгрузки грузов, исследование существующего мирового опыта, мониторинг трендов на глобальном мировом пространстве, позволяет находить решения, которые ведут к снижению транспортной составляющей в стоимости грузов.

Моделирование новых транспортных единиц (вагонов, контейнеров) даст возможности масштабировать результаты новых технических решений по всей сети железных дорог, а также их патентованию и экспорту в виде технологий за рубеж. Базовые подходы и принципы, отраженные в работах перечисленных выше авторов, исследователей и учёных, легли в основу настоящего исследования, с вытекающими положениями.

«Консидентальные перевозки грузов» (от английского слова «coincide» – совпадать) – это перевозки грузов и порожних вагонов по совпадающему (консидентальному) маршруту в одном направлении, в одном и том же или различном подвижном составе. Предложенный подход направлен на исследование возможности снижения транспортных расходов при перевозке грузов, используя новые технические и/или технологические решения, в том числе за счет исключения или значительного снижения порожнего пробега вагонов.

При перевозке грузов со станции A до станции D, по маршруту A–B–C–D, и одновременном следовании порожних вагонов со станции F до станции E по маршруту F–B–C–E, участок пути B–C является

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

совпадающим для грузов и порожних вагонов, или консидентальным. Схема консидентального маршрута представлена на Рис.1.

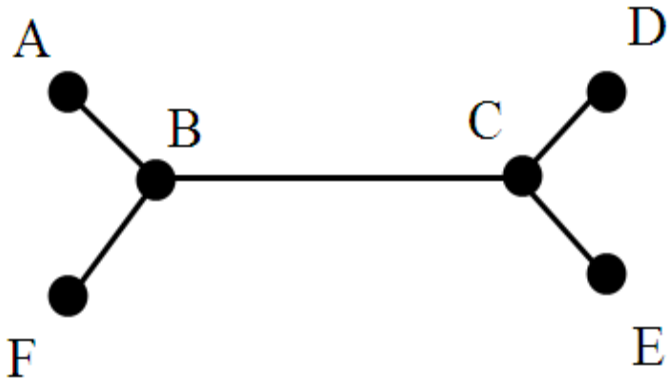


Рис. 1. Схема консидентального маршрута

Выделение консидентального маршрута позволяет применить математический аппарат для его анализа, для чего все грузовые станции сети РЖД предлагается нанести на декартову систему координат, и при наличии консидентального маршрута, рассчитать его длину, провести анализ возможности разработки, производства и эксплуатации «консидентального вагона» (транспортного средства) для перевозки, позволяющего исключить или снизить порожний пробег.

Известен грузовой вагон для комбинированных перевозок, имеющий кузов, выполненный в виде кузова полувагона, отличающийся тем, что рама комбинированного вагона снабжена упорами для фиксации устанавливаемых внутри кузова контейнеров. Полезная модель относится к железнодорожному транспорту и касается грузового вагона, предназначенного для перевозок грузов различного типа (сыпучих, крупно кусковых, штучно-пакетированных и других прочих не насыпных грузов) в кузове, а также в контейнерах, обеспечивая комбинированные перевозки без порожнего пробега как в прямом, так и в обратном направлениях. Задачей настоящей полезной модели является решение данной проблемы путём создания грузового вагона, обеспечивающего комбинированные перевозки грузов с полным исключением порожних пробегов вагонов [18].

Для оценки экономической эффективности «консидентальных перевозок грузов» предлагается сравнить транспортные расходы между существующей в настоящее время и возможной моделью перевозок, на примере перевозки груза уголь каменный по маршруту ст. Ерунаково Западно Сибирской ж.д. – ст. Находка-Восточная (эксп) Дальневосточной ж.д., далее на экспорт. Транспортные расходы между существующей в настоящее время и возможной моделью перевозок представлены в Табл. 2 и Табл. 3.

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

Таблица 2. Транспортные расходы при перевозке груза уголь каменный

Транспортные расходы	**Стоимость руб/ваг., без НДС**
Тариф за перевозку груза, маршрут ст. Ерунаково – ст. Находка-Восточная (эксп), вес 70 тн., маршрутная отправка	67 631,00
Тариф за порожний пробег, маршрут ст. Находка-Восточная (эксп) – ст. Ерунаково, маршрутная отправка	41 778,00
Предоставление полувагона, оборот вагона 30 суток	15 000,00
Итого:	124 409,00

Существующая модель перевозок

Для снижения транспортных расходов, предлагается рассмотреть альтернативную модель перевозок в полувагоне с фитинговыми упорами груза уголь каменный по маршруту ст. Ерунаково Западно Сибирской ж.д. - ст. Находка-Восточная (эксп) Дальневосточной ж.д., и в обратном направлении, из Дальневосточной ж.д. на Западно-Сибирскую ж.д. возможную погрузку контейнеров (груженых или порожних), по два 20-футовых или одного 40-футового в вагоне, что значительно снизит расстояния порожнего пробега.

Таблица 3. Транспортные расходы при перевозке груза уголь каменный в консидентальном вагоне

Транспортные расходы	**Стоимость руб/ваг., без НДС**
Тариф за перевозку груза, маршрут ст. Ерунаково - ст. Находка-Восточная (эксп), вес 70 тн., маршрутная отправка	67 631,00
Тариф за порожний пробег, маршрут ст. Находка-Восточная (эксп) – ст. Владивосток (эксп)	90,00
Предоставление полувагона, 18 суток	9 000,00
Итого:	76 721,00

Полувагон с фитинговыми упорами, как возможная модель перевозок

Для выражения разницы между существующими транспортными расходами при перевозке груза, с транспортными расходами при моделировании перевозок в консидентальном вагоне в процентах, существует понятие процентного изменения, которое можно выразить формулой:

$$\text{Процент снижения расходов} = 100 \times (ТР_{ПВ} - ТР_{КВ}) / ТР_{ПВ}, \quad (1)$$

где $ТР_{ПВ}$ – транспортные расходы в полувагоне, р/т;

$ТР_{КВ}$ – транспортные расходы в консидентальном вагоне, р/т

Received: 12.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 12.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

Процент снижения расходов = 100 х (124 409,00 р / 70 т – 76 721,00 / 70 т) / 124 409,00 р/ 70 т = 100 х (1 777,00 – 1096,00) / 1 777,00 = 38 %

Оборот вагона в полувагоне составит 30 дней, в вагоне консидентальном – 18 суток, на 12 суток меньше. Оборотом грузового вагона принимаем время от момента сдачи в груженом состоянии, до момента следующей сдачи в груженом состоянии.

Процент уменьшения оборота вагона = 100 х (30 – 18) / 30 = 40 %.

Полный рейс вагона при перевозке груза уголь каменный на маршруте ст. Ерунаково – ст. Находка-Восточная (эксп) определяется как сумма груженого и порожнего пробега и составит 11 966 км (5 983 км×2). Полным рейсом вагона принимаем расстояние пробега вагона от начала одной погрузки до начала следующей погрузки.

Полный рейс вагона (L_W) при перевозке груза уголь, на маршруте ст. Ерунаково – ст. Находка-Восточная (эксп) – ст. Владивосток (эксп) составит 6 206 (5983 км + 223 км), соответственно полный рейс вагона снизится на 5 760 км, при перевозке груза в консидентиальном вагоне.

Процент снижения L_W = 100 х (11 966 - 6 206)/11 966 = 48 %.

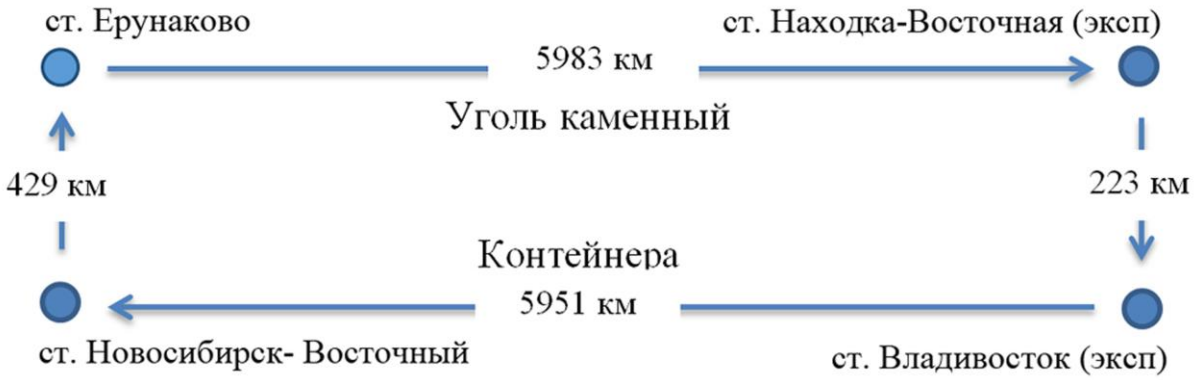


Рис. 2. Схема маршрутов перевозок грузов в консидентальном вагоне

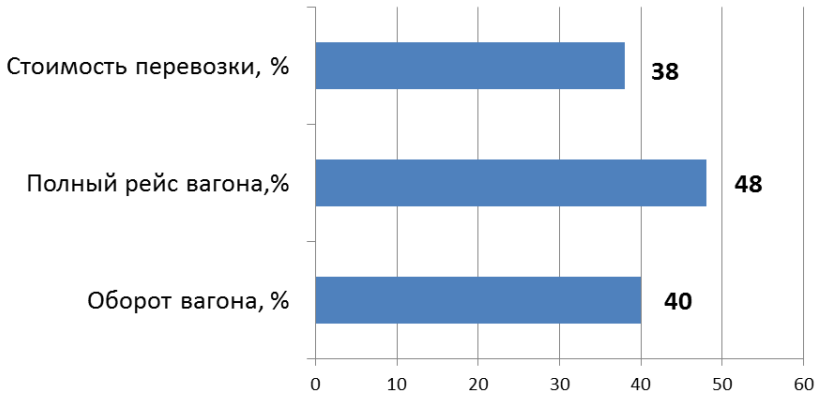


Рис. 3. Снижение показателей при перевозке груза в консидентальном вагоне, %

Received: 12.04.2021
Поступил: 12.04.2021
Revised: 26.04.2021
Одобрена: 26.04.2021
Accepted: 30.06.2021
Принята: 30.06.2021

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития экономики, происходит усиление конкуренции во всех отраслях, включая рынки транспортных услуг. Конкуренция рассматривается как непрерывный процесс на свободном рынке [19]. В экономической жизни конкуренция не является целью: это средство организации экономической деятельности для достижения цели. Экономическая конкуренция имеет место на рынках, где встречаются потенциальные поставщики и покупатели. Высокий уровень конкуренции способствует повышению экономической эффективности деятельности и конкурентоспособности отдельных организаций, снижению издержек.

В связи с этим важной научной задачей является анализ грузовой базы и предложения по разработке теоретических основ организации транспортного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Лосев А.Ф., Тахо-Годи А.А., Аверинцев С.С. и др. В кн.: Платон и его эпоха / под ред. Ф. Х. Кессиджи. – М.: Наука, 1979, – С. 124–127. [Losev AF, Taho-Godi AA, Averincev SS, et al. *Platon i ego jepoha.* Kessidzhi FH, aditor. Mockow: Nauka; 1979. pp. 124-127. (In Russ.)].
2. Минакир П.А., Демьяненко А.Н. Пространственная экономика: эволюция подходов и методов // Пространственная Экономика. – 2010. – № 2. – С. 6–32. [Minakir PA, Demjanenko AN. Prostranstvennaja ekonomika: evolucija podhodov i metodov. *Prostranstvennaja Ekonomika*. 2010;(2):6-32. (In Russ.)]. Доступно по: https://elibrary.ru/item.asp?id=15288656. Ссылка активна на: 08.04.2021.
3. Кульков В.М. Экономическое пространство: теоретические аспекты и современные процессы // Вестник Московского университета. – 2014. – № 1. – С. 3–18. [Kulkov VM. Ekonomicheskoe prostranstvo: teoreticheskie aspekty i sovremennye protsessy. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. 2014(1):3-18. (In Russ.)]. Доступно по: https://elibrary.ru/item.asp?id=21255333. Ссылка активна на: 08.04.2021.
4. Stockton & Darlington Railway [Internet]. [cited 2021 April 8]. Available from: https://www.britannica.com/topic/Stockton-and-Darlington-Railway.
5. Stevens J. *Documents tending to prove the superior advantages of rail-ways and steam-carriages over canal navigation* [Internet]. NY: Printed by T. & J. Swords; 1812. [cited 2021 April 8]. Available from: https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015076463952&view=1up&seq=1.
6. Granite Railway [Internet]. [cited 2021 April 8]. Available from: https://www.britannica.com/topic/Granite-Railway.
7. BALTIMORE & OHIO RAILROAD [Internet]. [cited 2021 April 8]. Available from: https://case.edu/ech/articles/b/baltimore-ohio-railroad.
8. American Railroads in the 20th Century [Internet]. [cited 2021 April 8]. Available from: https://americanhistory.si.edu/america-on-the-move/essays/american-railroads.
9. Фадеев Г.М. Железные дороги России. История и современность в фотодокументах. СПб: ИА «Петро-Ньюс», 1996. [Fadeev GM. Zheleznye dorogi Rossii. Istoriya i sovremennost v fotodokumentakh. St. Petersburg: IA “Petro-Nyus”;

Received: 12.04.2021 Revised: 26.04.2021 Accepted: 30.06.2021
Поступил: 12.04.2021 Одобрена: 26.04.2021 Принята: 30.06.2021

1996. (In Russ)].

10. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики. Учебник для вузов. – М.: ГУ ВШЭ, 2000. – 495 с. [Granberg AG. *Osnovy regionalnoi ekonomiki*. Uchebnik dlya vuzov. Moscow: GU VShE; 2000. 495p. (In Russ.)].

11. Головаш А.Н., Куршакова Н.Б. Перспективные направления повышения эффективности железнодорожного транспорта // Национальные приоритеты России. – 2016. – № 3(21). – С. 31–39. [Golovash AN, Kurshakova NB. Promising directions of railway transport upgrading. *Natsionalnye prioritety Rossii*. 2016;3(21):31-39. (In Russ.)].

12. Тевс С.К., Дубровская Е.В. Современные методы и технологии повышения эффективности использования подвижного состава на сети железных дорог // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 4–1. – С. 150–154. [Tevs SK, Dubrovskaya EV. Sovremennye metody i tekhnologii povysheniya effektivnosti ispolzovaniya podvizhnogo sostava na seti zheleznykh dorog. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2016;(4-1):150-154. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25917624. Ссылка активна на: 11.04.2021.

13. Корчак Е.А., Серова Н.А. Полярные взгляды на Заполярье: арктическая политика России и зарубежных стран // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2019. – Т. 12. – № 5. – С. 145–159. [Korchak EA, Serova NA. Polar Views on the Arctic: Arctic Policies of Russia and Circumpolar Countries. *Outlines of global transformations: politics, economics, law*. 2019;12(5):145-159. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.23932 /2542-024 0-2019-12-5-145-159

14. Агарков С.А., Козлов А.В., Федосеев С.В., Тесля А.Б. Основные направления повышения эффективности хозяйственной деятельности в Арктической зоне Российской Федерации // Записки Горного института. – 2018. – Т. 230. – С. 209–216. [Agarkov SA, Kozlov AV, Fedoseev SV, Teslya AB. Major trends in efficiency upgrading of the economic activity in the Arctic Zone of Russian Federation. *Journal of Mining Institute*. 2018;230:209-216. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.25515/pmi.2018.2.209

15. Турчанинова Т.В., Храпов В.Е., Иванов Т.Н. Формирование условий пространственного взаимодействия инфраструктурных предприятий промышленного рыболовства на Европейском севере // Региональная экономика: теория и практика. – 2016. – № 1(424). – С. 124–133. [Turchaniniva TV, Khrapov VE, Ivanov TN. Formation of conditions of spatial interaction of the industrial-fishery infrastructure enterprises in the european north. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2016; 1(424):124-133 (In Russ.)]. Доступно по: http://213.226.126.9/re/2016/re01/re0116-124.pdf . Ссылка активна на: 12.04.2021.

16. Лапидус Б.М., Мачерет Д.А. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее. – М.: КРАСАНД, 2014. [Lapidus BM, Macheret DA. Makroekonomicheskaya rol' zheleznodorozhnogo transporta: Teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendentsii i vzglyad v budushchee. Moscow: KRASAND, 2014. (In Russ.)].

17. ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. [GOST 9238-2013. Gabarity zeleznodoroznogo podviznogo sostava i priblizeniy stroenii. (In Russ)]. Дата обращения: 12.04.2021. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200107121.

18. Патент РФ на полезную модель № 180512/ 14.06.18. Бюл. № 17. Ющенко В.В. Вагон для комбинированных перевозок. [Pat. RUS № 180512/ 14.06.18. Byul. №

Received: 12.04.2021 **Revised: 26.04.2021** **Accepted: 30.06.2021**
Поступил: 12.04.2021 **Одобрена: 26.04.2021** **Принята: 30.06.2021**

17. Yushchenko V.V. Vagon dlya kombinirovannykh perevozok. (In Russ.)]. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Дата обращения: 12.04.2021.
19. Djolov G. The Economics of Competition: The Race to Monopoly. Editor: Routledge. ISBN-13: 978-0789027894. 2006. 349 p. [cited 2021 Apr 12] Available from: https://doi.org/10.1002/agr.20232.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Сведения об авторах:
Ющенко Вячеслав Васильевич, исследователь;
eLibrary SPIN: 1212-9307; ORCID: 0000-0002-6982-1910; Scopus ID: 57210914630;
E-mail: v.yushchenko.arctic@gmail.com
Храпов Владимир Евгеньевич, д.э.н., доцент;
eLibrary SPIN: 4562-5595; ORCID: 0000-0002-1982-7724; Scopus ID: 57206731069;
E-mail: Khrapov00@mail.ru

Information about the authors:
Viacheslav V. Yushchenko, researcher;
eLibrary SPIN: 1212-9307; ORCID: 0000-0002-6982-1910; Scopus ID: 57210914630;
E-mail: v.yushchenko.arctic@gmail.com
Vladimir E. Khrapov, Associated Professor, Doctor of Economics;
eLibrary SPIN: 4562-5595; ORCID: 0000-0002-1982-7724; Scopus ID: 57206731069;
E-mail: Khrapov00@mail.ru

Цитировать:
Ющенко В.В., Храпов В.Е. Концепция «Консидентальных перевозок грузов» как механизм повышения эффективности железнодорожного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 130–141. doi: 10.17816/transsyst202172130-141

To cite this article:
Yushchenko VV, Khrapov VE. The concept of "Coincidental cargo transportation" as a mechanism to improve the efficiency of railway transport. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):130-141. doi: 10.17816/transsyst202172130-141