

ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

**TRANSPORTATION
SYSTEMS AND
TECHNOLOGY**
peer-review journal

transst.ru

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@trassyst.ru
WEB: www.trassyst.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. Дитрих
Литературный редактор Е. В. Васильева
Верстка А. А. Стуканова

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

Эл№ФС77-53673 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://trassyst.ru/trassyst/about/submissions>

ПОДПИСКА

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

**ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ**

Том 6, № 4

2020

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**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

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

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@trassyst.ru
Website: www.trassyst.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://trassyst.ru/trassyst/about/submissions>)

SUBSCRIPTION

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

TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Vol. 6, Issue 4

2020

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
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника</p> <p>Никитин В.В., Стрепетов В.М. Линейный асинхронный тяговый привод в городских рельсовых и магнитолевитационных транспортных системах</p>	5	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering</p> <p>Nikitin V.V., Strepetov V.M. Linear Asynchronous Traction Drive in Urban Rail and Maglev Transport Systems</p>
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника</p> <p>Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов</p>	25	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering</p> <p>Moskvichev V.V., Kovalev M.A. Assessment of Operational Reliability Indicators of Pit Rope-Operated Excavators</p>
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов</p> <p>Аверченко Г.А., Павленко А.Д., Зорина Е.А., Наборщикова Д.Н. Строительство водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь</p>	45	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and construction of roads, subways</p> <p>Averchenko G.A., Pavlenko A.D., Zorina E.A., Naborschikova N.D. Construction of Culverts by Pushing the Finished Links into the Embankment</p>
<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА</p> <p>Тодуа В.А., Бельницкий Д.С. Особенности формирования логистических центров в Германии и Италии</p>	61	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS</p> <p>Todua V.A., Belnitsky D.S. Features of the Formation of Logistics Centers in Germany and Italy</p>
ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ		ORIGINAL STUDIES
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов</p> <p>Лычковский А.А. Технологическое регулирование сооружения земляного полотна</p>	73	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and construction of roads, subways</p> <p>Lychkovskiy A.A. Technological Regulation of the Construction of the Roadbed</p>
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Транспортная инфраструктура</p> <p>Герасименко П.В. Моделирование и прогнозирование показателей динамики заболевания жителей регионов коронавирусом COVID-19</p>	88	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Transport Infrastructure</p> <p>Gerasimenko P.V. Modeling and Prediction of Indicators of Dynamics of Diseases of Residents of Regions Coronavirus COVID-19</p>

<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Чеченова Л.М. Повышение инвестиционной привлекательности транспортных организаций, осуществляющих интермодальные контейнерные перевозки в период пандемического кризиса</p>	98	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Chechenova L.M. Increasing the Investment Attractiveness of Transport Organizations Engaged in Intermodal Container Transport During the Pandemic Crisis</p>
<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Егоров Ю.В. Развитие теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–XXI вв.</p>	113	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Egorov Y.V. Development of theoretical approaches to pricing in freight rail in the XX–the beginning of XXI centuries</p>
<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Романов А.С., Лякина М.А. Механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности, обусловленной развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения</p>	127	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Romanov A.S., Lyakina M.A. The Formation mechanism of External Effects of Improving Transport Accessibility Caused by High-speed Rail Development</p>
<p>Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Фёдорова М.В. Прогноз спроса на пользование магнитолевитационным транспортом</p>	143	<p>Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Fedorova M.V. Forecast of Demand for the Use of Maglev Transport</p>
<p>Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника Черемисин В.Т., Кузнецов А.А., Волчанина М.А., Горлов А.В. Измерение параметров акустических сигналов имитатора дефектов силовых трансформаторов</p>	161	<p>Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering Cheremisin V.T., Kuznetsov A.A., Volchanina M.A., Gorlov A.V. Measuring the Acoustic Signals Parameters of the Defect Simulator of Power Transformers</p>

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.313.33

DOI 10.17816/transsyst2020645-24

© **В. В. Никитин, В. М. Стрепетов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ЛИНЕЙНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ТЯГОВЫЙ ПРИВОД В ГОРОДСКИХ РЕЛЬСОВЫХ И МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Развитие транспортной инфраструктуры крупных городов с высокой плотностью населения и застройки должно осуществляться на базе инновационных технических решений, которые позволяют упростить условия прокладки трасс, удешевить строительство, снизить уровень шума, обеспечить комфорт пассажиров и сократить затраты на эксплуатацию подвижного состава. Одним из таких решений, эффективность которого подтверждается зарубежным опытом, является применение линейного асинхронного тягового привода (ЛАТП) в городских рельсовых и магнитолевитационных транспортных системах. Это, в частности, позволяет увеличить допустимую величину уклонов пути до 60–65 %, уменьшить вертикальные габариты подвижного состава до 3,15 м, сократить диаметр тоннеля на 25–30 %. Освобождение колесной пары от функции реализации тягового усилия дает возможность применять на вагонах сочлененные полурамы тележек, что обеспечивает лучшее вписывание подвижного состава в кривые, и как следствие – меньший износ колес и рельсов и уменьшение уровня шума.

В настоящей статье выполнен анализ преимуществ и недостатков ЛАТП по сравнению с тяговым приводом традиционного исполнения, рассмотрены варианты конструктивного исполнения линейных асинхронных двигателей (ЛАД), процессы электромеханического преобразования энергии в ЛАД, представлен вариант построения системы управления ЛАТП. В статье рассмотрены плоские ЛАД поступательного движения, которые нашли применение в транспортных системах крупных городов Азии и Америки. Процессы преобразования энергии в ЛАД отличаются наличием продольного краевого эффекта, что определяет искажение результирующего магнитного поля, которое проявляется в уменьшении индукции и смещении пика кривой распределения индукции к сбегающему краю индуктора. Особенно резко этот эффект выражен в высокоскоростных ЛАД с высокой добротностью. При допущении линейности магнитной среды результирующую электромагнитную силу ЛАД можно рассматривать как сумму электромагнитных сил, создаваемых главным полем, а также прямым и обратным полями продольного краевого эффекта. Краевые эффекты снижают КПД и коэффициент мощности ЛАД. В статье рассмотрены способы компенсации краевых эффектов, а также дан обзор мирового опыта применения ЛАТП в рельсовых и магнитолевитационных транспортных системах.

Преимущества ЛАТП и мировой опыт его применения позволяют предположить, что для городских транспортных систем при скоростях движения до 100-120 км/ч данный привод может составить реальную конкуренцию традиционным системам городского рельсового транспорта.

Ключевые слова: городской электрический транспорт, тяговый электропривод, линейный асинхронный двигатель.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field –Electrical Engineering

© **Victor V. Nikitin, Vladimir M. Strepetov**
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

LINEAR ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE IN URBAN RAIL AND MAGLEV TRANSPORT SYSTEMS

The development of transport infrastructure of large cities with high population density and development should be carried out on the basis of innovative technical solutions, that allow to simplify the conditions of laying of tracks, reduce the cost of construction, reduce noise, provide comfort to passengers and reduce the cost of operating rolling stock. One such solution, the effectiveness of which is confirmed by foreign experience, is the use of linear asynchronous traction drive (LATD) in urban rail and maglev transport systems. This, in particular, allows to increase the allowable value of slope paths to 60–65 ‰, reduce the vertical dimensions of rolling stock to 3.15 m, reduce the diameter of the tunnel by 25–30 %. The release of the wheel pair from the function of the implementation of traction effort makes it possible to apply on the wagons the articulated semi-frames of trolleys, that ensures better rolling stock in curves, and as a result - less wear of wheels and rails and less noise.

This article analyzes the advantages and disadvantages of LATD compared to the traction drive of traditional execution, considers variants of constructive performance of linear induction motors (LIM), processes of electromechanical energy conversion in LIM, the option of building a LATD control system is presented. The article examines the flat LIM, which have found use in the transport systems of major cities in Asia and America. The processes of energy conversion in LIM are distinguished by the presence of a longitudinal edge effect, which determines the distortion of the resulting magnetic field, which is manifested in the reduction of induction and the displacement of the peak of the induction distribution curve to the escaping edge of the inductor. This effect is particularly manifested in high-speed LIMs with high quality. When the linearity of the magnetic environment is allowed, the resulting electromagnetic force of the LIM can be considered as the sum of electromagnetic forces created by the main field, as well as the direct and reverse fields of the longitudinal edge effect. The edge effects reduce efficiency and power ratio of LIM. The article discusses ways to compensate for the edge effects, as well as an overview of the world experience of the use of LATD in rail and maglev transport systems.

The advantages of LATD and the world experience of its use suggest that for urban transport systems at speeds of up to 100-120 km/h this drive can be a real competition to traditional urban rail systems.

Keywords: urban electric transport, traction electric drive, linear induction motor.

ВВЕДЕНИЕ

Рост территории городов, численности и плотности городского населения, потребность в повышении мобильности населения определяет необходимость сокращения времени в пути между конечными точками маршрута, вокзалами и аэропортами, центрами городов и пригородами, а также выдвигает жесткие требования к уровню шума и вибрациям от подвижного состава в пределах городских агломераций. Этим требованиям в наибольшей степени соответствует развитие транспортной инфраструктуры, в частности городского рельсового транспорта, на основе технических решений, которые позволяют упростить условия прокладки трасс, удешевить строительство, снизить уровень шума и одновременно обеспечить комфорт пассажиров и сократить затраты на эксплуатацию. В этой связи заслуживает внимания зарубежный опыт применения линейного асинхронного тягового привода (ЛАТП) в городских рельсовых и магнитолевитационных транспортных системах.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ЛИНЕЙНЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ

Стоимость строительства. Высокая плотность городской застройки, зачастую сопряженная со сложным ландшафтом местности обуславливает жесткие требования к условиям прокладки трасс городского рельсового транспорта и делают стоимость строительства новых линий с традиционным типом тягового привода высокой. Применение ЛАТП позволяет упростить требования к прокладке трасс по величине уклонов пути, влияет на количество и протяженность искусственных сооружений (мосты, тоннели) на трассе, что в совокупности ведет к удешевлению строительных работ. Облегчение требований к трассировке достигается за счет того, что тяговое усилие в линейном приводе реализуется не за счет сил сцепления в контакте колесо-рельс, которые ограничиваются коэффициентом сцепления и сцепной массой транспортного средства (вагона), а путем непосредственного электромагнитного взаимодействия магнитного поля индуктора, размещаемого, как правило, на экипаже и тока реактивной шины, располагаемой на путевом полотне. В действующих транспортных системах с ЛАД крутизна уклонов достигает 60–65 %, в то время как в системах с традиционным типом привода предельная крутизна уклонов составляет лишь 35–40 %. ЛАТП позволяет также размещать остановочные пункты в более удобных для пассажиров местах.

Для подвижного состава с ЛАТП характерны меньшие габариты по сравнению с традиционным приводом. Плоская конструкция индуктора ЛАД и малые вертикальные габариты двигателя приводят к уменьшению

вертикальных габаритов экипажной части в целом. Так вертикальный габарит подвижного состава сокращается с 4,1 м до 3,15 м. При прокладке подземных трасс метрополитенов с ЛАТП имеет место уменьшение диаметра тоннеля с 7,3 м до 5,3 м. Это заметно удешевляет строительство подземных транспортных линий.

ЛАТП позволяет также применять на подвижном составе тележки с изменяемым углом осей колесных пар. Это позволяет уменьшить предельные радиусы кривых участков пути на трассах со 100 м до 70 м, а в депо – с 45 м до 35 м. Благодаря этому имеет место не только удешевление строительства, но и сокращение площадей, занимаемых депо-хозяйством.

Подвижной состав. Пример конструкции тележки вагона с ЛАД представлен на (Рис. 1). Из Рис.1 видно, что плоский индуктор ЛАД размещается в габаритах, ограниченных осью колесной пары и реактивной шиной путевого полотна.

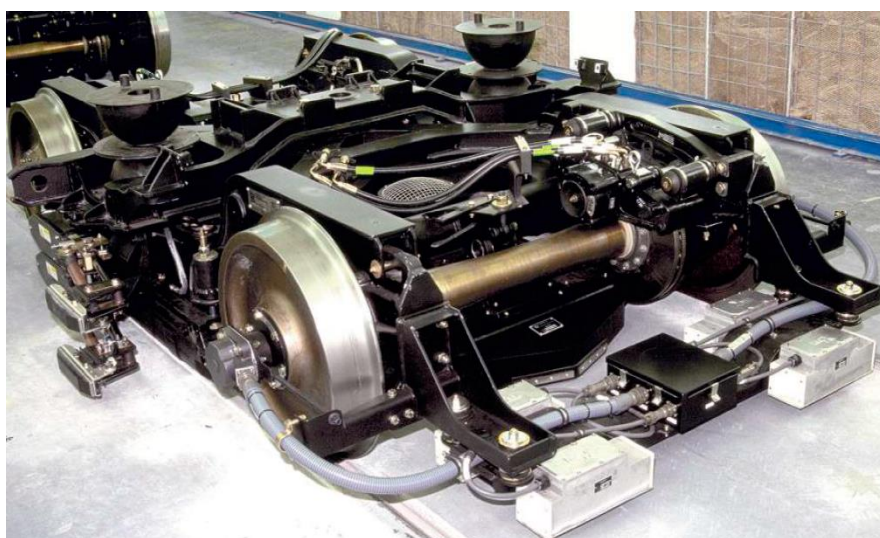


Рис. 1. Тележка вагона с линейным асинхронным приводом компании *Bombardier*

Непосредственная реализация тягового усилия за счет электромагнитного взаимодействия индуктора, размещаемого на экипаже, с реактивной шиной, размещаемой на путевом полотне, исключает необходимость в тяговом редукторе. Благодаря этому вагоны имеют меньшую массу и габариты, а также лучшее соотношение массы тары и полезной нагрузки. При этом вагоны оказывают меньшее динамическое воздействие на путь и позволяют снизить уровень шума. Освобождение колесной пары от функций реализации тягового усилия дает возможность применять на вагонах сочлененные полурамы тележек. Такая конструкция тележек позволяет осям колесных пар смещаться друг относительно друга на некоторый угол при вхождении в кривые. Это обеспечивает лучшее

вписывание подвижного состава в кривые, и как следствие – меньший износ колес и рельсов и уменьшение уровня шума. Следует также отметить, что инерционность вращающихся масс у подвижного состава с ЛАТП почти в три раза меньше традиционного привода, что позволяет либо понизить энергозатраты в динамических режимах работы, либо реализовывать большие ускорения.

Энергетика тяги. Значительные уклоны пути позволяют рекуперировать большую энергию при движении по уклону с постоянной скоростью. В условиях городского транспорта, когда расстояние между поездами, движущимися навстречу друг другу невелико, это повышает эффективность энергообмена между ними и сокращает общий расход энергии на тяговые нужды.

Проблемы. Разомкнутый магнитопровод ЛАД обуславливает появление продольных и поперечных краевых эффектов, которые оказывают вредное влияние на характеристики ЛАТП. С ростом скорости движения возрастает искажение распределения магнитной индукции по продольной координате, что снижает величину тягового усилия. Большой воздушный зазор в ЛАД определяет высокое значение его намагничивающей силы, в результате чего ЛАД обладает относительно низким коэффициентом мощности. По этой причине тяговая сеть транспортных систем с ЛАТП выполняется на постоянном токе, а реактивный энергообмен перенесен в систему "инвертор-индуктор ЛАД". Ограниченность активной зоны индуктора ЛАД поперечным размером межколесного пространства с учетом вылета лобовых частей обмотки индуктора и реализация тягового усилия за счет электромагнитного взаимодействия обуславливает большие электромагнитные и тепловые нагрузки линейного двигателя. Определенные проблемы в эксплуатации может создавать также открытая конструкция активной зоны ЛАД. С одной стороны, при этом обеспечивается лучшее охлаждение активной зоны двигателя, но с другой стороны, она подвержена воздействию пыли, снега и повышенной влажности воздуха.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, ОСНОВЫ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАД

Наиболее полная классификация ЛАД дана в [1]; согласно этой классификации в настоящей статье рассматриваются плоские ЛАД поступательного движения для тягового привода транспортных средств. По конструкции индуктора плоские ЛАД поступательного движения могут быть выполнены односторонними (ОЛАД) или двухсторонними (ДЛАД). ДЛАД имеют два индуктора, в пазы которых укладывается трехфазная обмотка, индуцирующая первичное бегущее магнитное поле. В зазоре

между индукторами перемещается вторичный элемент (ВЭ), который представляет собой чаще всего проводящую полосу и называется также реактивной шиной (РШ). При этом магнитный поток, возбуждаемый токами в обмотках индуктора, пронизывает ВЭ и замыкается по сердечникам обоих индукторов. ОЛАД имеют один индуктор, а магнитный поток, пронизывая ВЭ, замыкается через обратный магнитопровод (ферромагнитную подложку), размещаемую, как правило, под электропроводящим ВЭ. ДЛАД по сравнению с ОЛАД имеют несколько лучшие энергетические показатели, однако являются более материалоемкими и дорогими.

Плоские ЛАД могут быть выполнены с длинным ВЭ и коротким индуктором; такой вариант конструкции получил наибольшее распространение. В этом случае индуктор располагается на экипаже, а ВЭ – на путевом полотне. ВЭ ЛАД может иметь различные варианты конструктивного решения. Наиболее простой вариант – изотропная РШ, выполняемая из проводящего материала (алюминий или медь). Зачастую РШ выполняют из нескольких материалов (медная или алюминиевая шина со стальной подложкой) или в виде многослойной конструкции (медь-сталь-медь или алюминий-сталь-алюминий). РШ может быть выполнена монолитной или в виде решетчатой конструкции с выштампованными окнами, что упорядочивает распределение вихревых токов во ВЭ и несколько снижает влияние краевых эффектов. Возможно также применение ВЭ с обмоткой в виде беличьей клетки из медных стержней и торцевых короткозамыкающих проводников. Анализ различных вариантов конструкции ВЭ [2, 3] показал, что вариант медного ВЭ в виде "лестницы" или "беличьей клетки" наиболее эффективен, но этот вариант является более дорогим для широкого использования в транспортных системах, поэтому более целесообразен его алюминиевый аналог. Возможен вариант сложной конструкции ВЭ в виде комбинации сплошной центральной проводящей части и решетчатой проводящей конструкции по обеим сторонам от центральной части [4], обеспечивающей лучшую поперечную устойчивость экипажа.

В ряде конструкций, в частности, предложенных фирмой *Hitachi* [5], в зонах, где осуществляется пуск и разгон, РШ выполняется из меди, а в зонах установившегося движения – из алюминия. Выполнение РШ из меди позволяет по некоторым оценкам [6] повысить КПД ЛАД с $\eta=0,762$ до $\eta=0,789$. Впрочем, можно встретить и противоположные оценки [7], согласно которым в медной РШ с большей проводимостью потери от вихревых токов, вызванных краевыми эффектами, больше, чем в алюминиевой РШ.

Компания *Bombardier* в своих транспортных системах применяет на участках пуска и торможения ЛАД шихтованную ферромагнитную

подложку, что уменьшает потери мощности и увеличивает пусковую (тормозную) мощность; при этом в зонах установившегося движения ферромагнитная подложка выполняется сплошной.

Следует отметить, что выполнение РШ из материалов с различными (по продольной координате) свойствами приводит к тому, что параметры ЛАД по мере разгона, движения и торможения могут изменяться, что создает дополнительные трудности при построении системы управления экипажем.

Кроме этого, ЛАД могут различаться по схеме замыкания магнитного потока – с продольным замыканием потока в направлении движения (такие ЛАД получили наибольшее распространение) и с поперечным замыканием потока [8].

Основные физические процессы преобразования энергии, протекающие в ЛАД, и их отличие от процессов в асинхронном двигателе вращательного движения наиболее наглядно можно представить на основе одномерной теории [1, 9, 10] ДЛАД.

Одномерная теория ДЛАД базируется на расчетной модели, представленной на Рис. 2, и ряде упрощающих допущений: активная поверхность индуктора гладкая, обмотка реального индуктора, расположенная в пазах, представлена токовым слоем, распределенным по поверхности индуктора и образующим бегущую в продольном (вдоль оси Ox) направлении волну; магнитная проницаемость сердечников бесконечно большая и их насыщение отсутствует; электропроводность сердечников не учитывается, сердечники индукторов имеют бесконечную протяженность по продольной (X) и поперечной (Z) координатам, а продольный краевой эффект является следствием лишь ограниченной длины поверхностного токового слоя индуктора; вторичный элемент представляет собой изотропную проводящую немагнитную среду и заполняет все межиндукторное пространство.

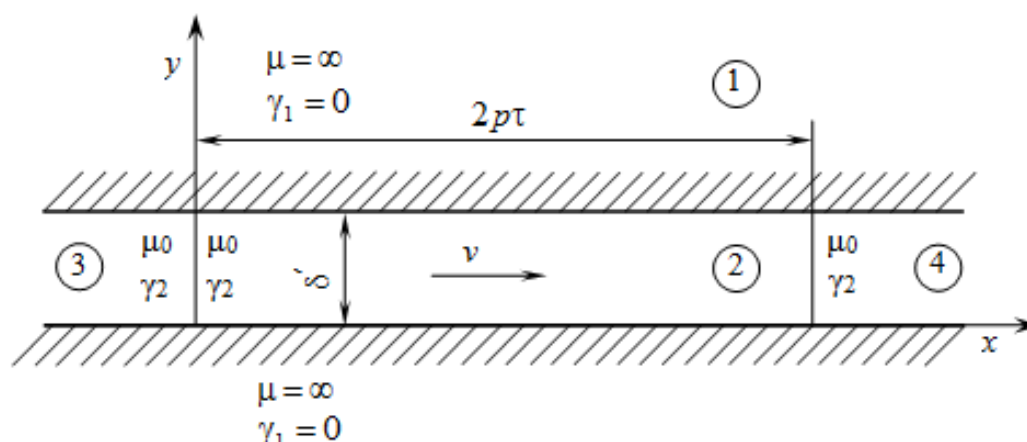


Рис. 2. Расчетная одномерная модель ДЛАД

В такой модели образуются следующие составляющие магнитного поля. В зоне 2, которая соответствует обмотанной части ЛАД: главное магнитное поле представляет бегущее вдоль оси OX с синхронной скоростью поле и имеющее постоянную амплитуду индукции; прямая (бегущая вдоль положительного направления оси OX) волна магнитной индукции продольного краевого эффекта, затухающая по продольной координате по экспоненциальному закону; обратная волна магнитной индукции продольного краевого эффекта, бегущая в противоположном направлении оси OX и также затухающая по продольной координате согласно экспоненциальному закону. Прямые волны магнитного поля краевого эффекта затухают медленнее, чем обратные. В высокоскоростных ЛАД прямые волны полей, вызванных продольным краевым эффектом могут достаточно глубоко проникать в область 2, иногда даже проникая в область 4. Это определяет искажение результирующего магнитного поля в ЛАД, вызываемое продольным краевым эффектом, и заключающееся в уменьшении индукции и смещении пика кривой индукции к сбегавшему краю индуктора в тем большей степени, чем ближе скольжение к нулю. Особенно резко этот эффект выражен в высокоскоростных ЛАД с высокой добротностью. Пример распределения магнитной индукции на поверхности РШ при различных скоростях движения для ЛАД транспортной системы *HSST* (Япония) представлен на Рис. 3 [11].

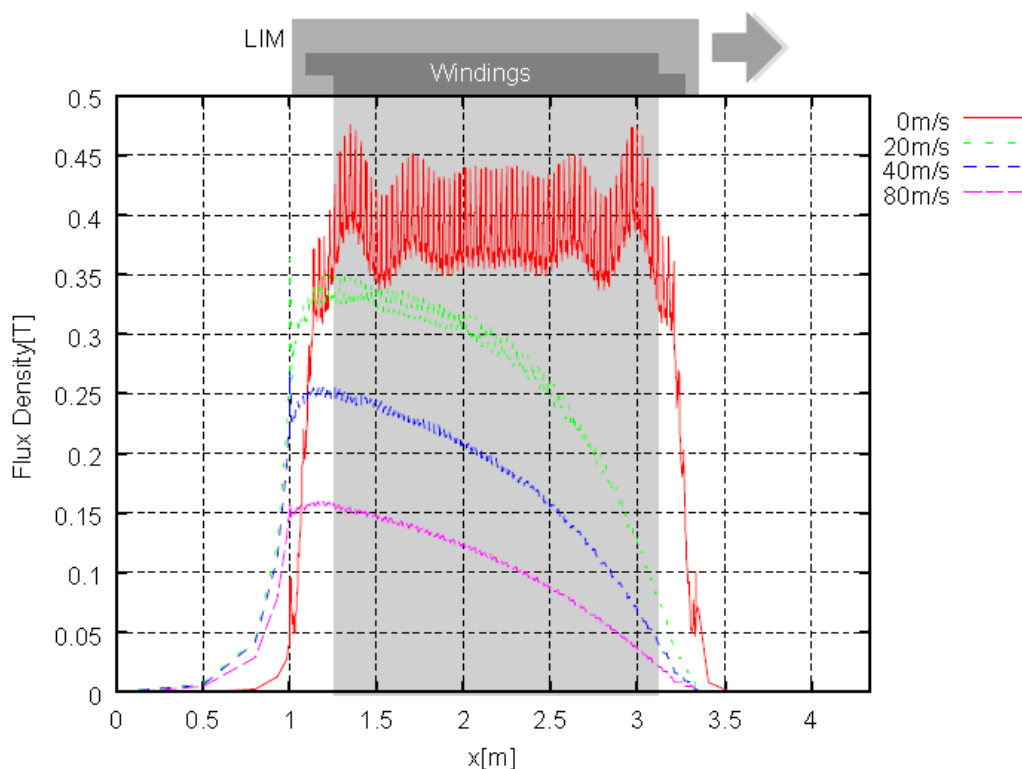


Рис. 3. Распределение магнитной индукции по длине активной части ЛАД в зависимости от скорости движения [11]

Важным параметром, характеризующим ЛАД, является добротность машины, или критерий качества, определяемый равенством:

$$\varepsilon_0 = \frac{\mu_0 \gamma_2 \omega \tau^2}{\pi^2},$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

γ_2 – электрическая проводимость ВЭ;

ω – угловая частота тока в обмотках индуктора;

τ – полюсное деление ЛАД.

В силу принятой линейности магнитной среды результирующую электромагнитную силу можно рассматривать как сумму электромагнитных сил, создаваемых главным полем, прямым и обратным полями продольного краевого эффекта:

$$F_x = F_0 + F_{\text{пр.кэ}} + F_{\text{об.кэ}}$$

Электромагнитная сила главного поля [1]:

$$F_0 = 2b\delta'p\tau \frac{\mu_0}{\alpha} J_m^2 \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon^2},$$

где $2b$ – ширина индуктора;

δ' – воздушный зазор в одномерной модели с гладкими активными поверхностями индукторов;

p – число пар полюсов обмотки индуктора;

$\alpha = \pi/\tau$ – волновое число;

J_m – плотность тока индуктора;

$\varepsilon = \varepsilon_0 s$;

s – скольжение.

Электромагнитная сила, создаваемая главным полем, при условии, что плотность первичного тока не зависит от нагрузки, может быть выражена в относительных единицах через скольжение s и добротность ЛАД ε_0 в таком виде:

$$F_0^* = \frac{F_0}{F_{0.б}} = \frac{2\varepsilon_0 s}{1 + (\varepsilon_0 s)^2},$$

где за базисное значение силы принято

$$F_{0.б} = b\delta'p\tau \frac{\mu_0}{\alpha} J_m^2.$$

Выражение $F_0^*(s)$ представляет собой механическую характеристику ЛАД в относительных единицах без учета влияния краевых эффектов.

Отсюда следует, что

$$F_0 \rightarrow F_{0.max} \quad \text{при} \quad s \rightarrow s_{кр} = \frac{1}{\varepsilon_0}.$$

Прямая и обратная волны индукции поля краевого эффекта создают электромагнитные силы, которые распределены по продольной координате (X) соответственно изменению индукции этих волн и затухают по мере затухания этих волн.

Прямая волна создает на набегающем крае индуктора тормозное усилие, которое по мере «продвижения» вглубь индуктора, становится двигательным, постепенно затухая с ростом координаты. Обратная волна на сбегающем крае индуктора создает двигательное усилие, которое по мере "продвижения" вглубь индуктора (против направления координатной оси Ox) становится тормозящим, постепенно затухая с ростом абсолютного значения координаты X .

По мере роста скорости ЛАД и уменьшения скольжения изменяются все три составляющие результирующей электромагнитной силы. Сила F_0 , создаваемая главным полем, аналогично тому, как это имеет место во вращающихся АД, возрастает, преодолевает максимум при $S=S_{кр}$, а затем уменьшается. В низкоскоростных ЛАД отрицательный вклад полей краевых эффектов с ростом скорости уменьшается, а положительный – увеличивается. Интересно заметить, что в ЛАД с низким значением добротности ϵ_0 влияние прямой и обратной волн продольного краевого эффекта проявляется лишь непосредственно вблизи краев индуктора и имеет практическое значение только для коротких индукторов ЛАД с малым числом пар полюсов, а положительное электромагнитное усилие (двигательное) может возникать даже при нулевом скольжении.

В двигателях с большими значениями добротности ϵ_0 есть особенность: отрицательные части кривой распределения силы, создаваемой прямым полем продольного краевого эффекта, практически во всем скоростном диапазоне больше положительных, поэтому в целом это прямое поле создает отрицательное продольное усилие в большей части скоростного диапазона ЛАД. Это создает более ярко выраженное неравномерное распределение результирующей силы F_x по координате X : в набегающей части индуктора результирующая сила меньше, в сбегающей – больше.

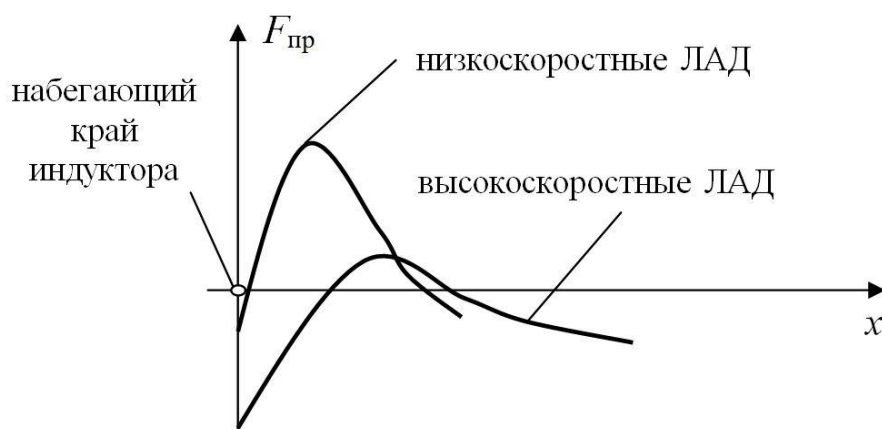


Рис. 4. Характер распределения электромагнитного усилия по продольной координате от прямой волны продольного краевого эффекта в низкоскоростных и высокоскоростных ЛАД

С. Ямамура [10], анализируя одномерные, двухмерные и трехмерные модели ЛАД, показал, что во многих случаях двухмерное, а иногда и одномерное приближение, дает вполне приемлемые для практических целей результаты (как правило, для низкоскоростных ЛАД). Однако для высокоскоростных ЛАД необходимо использование трехмерных моделей [12–15].

Краевые эффекты снижают КПД и коэффициент мощности ЛАД, что является их существенным недостатком и ограничивает область применения по сравнению с вращающимся аналогом асинхронной машины. Для компенсации продольных краевых эффектов предложено несколько технических решений.

Один из вариантов – компенсационная обмотка, предложенная С. Ямамурой [10]. Принципиально иной подход заключается в том, чтобы индуцировать во ВЭ (РШ) вихревые «контртоки», которые синхронизированы по частоте с током индуктора и наводятся во входящей зоне РШ перед набегающим краем индуктора ЛАД [16]. Такие «контртоки» могут создаваться компенсаторами вращающегося типа и статическими компенсаторами краевых эффектов. На Рис. 5 представлен вращающийся компенсатор краевого эффекта с постоянными магнитами, установленный на набегающем крае индуктора ЛАД [16].

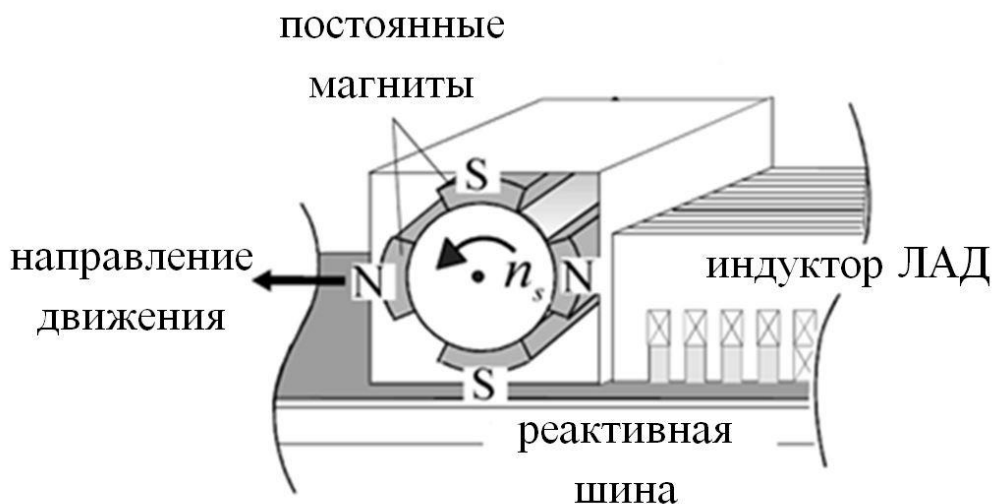


Рис. 5. Вращающийся компенсатор краевого эффекта

Частота вращения компенсатора определяется в зависимости от частоты тока обмотки индуктора:

$$n_s = 2f_1/p_r,$$

где f_1 – частота тока индуктора;

p_r – число полюсов вращающегося компенсатора.

Преимуществами такого типа компенсатора является отсутствие омических потерь при создании компенсирующего магнитного поля, а недостатком – необходимость привода компенсатора, который должен обеспечивать частоту вращения, согласованную с выходной частотой инвертора, питающего обмотку индуктора.

Вариант статического компенсатора представлен на Рис. 6 [16].

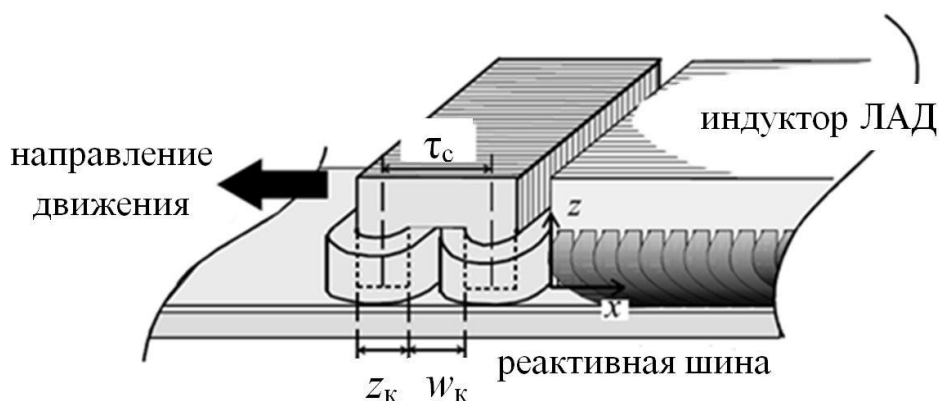


Рис. 6. Статический компенсатор краевого эффекта

Частота тока, питающего обмотки компенсатора, равна частоте тока индуктора ЛАД. Недостатком такого варианта компенсатора является наличие собственного краевого эффекта, который уменьшает тяговое усилие компенсированного ЛАД. Однако при оптимальном выборе полюсного шага (τ_c), ширины полюса (z_{tc}) и намагничивающей силы статического компенсатора это снижение незначительно, а наиболее значительного повышения КПД удастся добиться для ЛАД с длинным статором (число полюсов магнитного поля индуктора – 20 и более).

В ЛАТП экипажей на магнитном подвесе коммерческой линии в г. Чанша (Китай) для уменьшения влияния краевых эффектов на каждом вагоне применены по пять односторонних ЛАД (с каждой стороны кузова вагона), при этом фазные обмотки индукторов соединены последовательно с транспозицией (Рис. 7) [17].

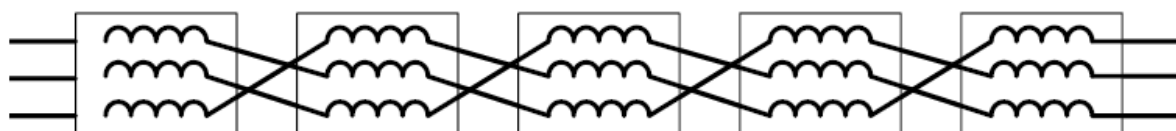


Рис. 7. Последовательное соединение обмоток индуктора ОЛАД с транспозицией (Чанша-маглев, Китай)

Особенностью электромагнитных силовых взаимодействий односторонних ЛАД является возникновение усилий вдоль трех координат: продольной (тяговое или тормозное), вертикальной (усилие,

действующее в нормальном к рабочей поверхности индуктора и поверхности ВЭ направлении) и поперечной координаты [18 – 20]. С этим явлением связан так называемый эффект "дельфина", который обусловлен двумя факторами. Во-первых, электромагнитным притяжением между индуктором и ферромагнитной подложкой (обратным магнитопроводом) ВЭ в односторонних ЛАД. Если такой двигатель используется в транспортных системах с магнитной левитацией, то это обстоятельство препятствует левитации и может оказывать существенное негативное влияние на параметры и характеристики тягового привода. Во-вторых, имеет место электродинамическое взаимодействие между токами обмотки статора и наведенными токами во ВЭ. В односторонних ЛАД это обстоятельство способствует левитации. Соотношение отрицательного, препятствующего левитации, и положительного, способствующего левитации, нормальных усилий зависит от многих факторов (скорости, величины воздушного зазора, частоты питания обмотки статора), однако искажение магнитного поля под действием вторичного продольного краевого эффекта почти всегда приводит к тому, что набегающий край индуктора испытывает поднимающее усилие, а сбегающий край – притягивающее усилие. Эффект "дельфина" приводит к появлению вращающих моментов, действующих в вертикальной плоскости, и дополнительных нагрузок, действующих на систему подвеса индуктора и/или экипажа. При малых скольжениях нормальное усилие может существенно превышать тяговое усилие ЛАД. Одним из вариантов снижения эффекта "дельфина" является увеличение воздушного зазора под сбегающим краем индуктора (Рис. 8).

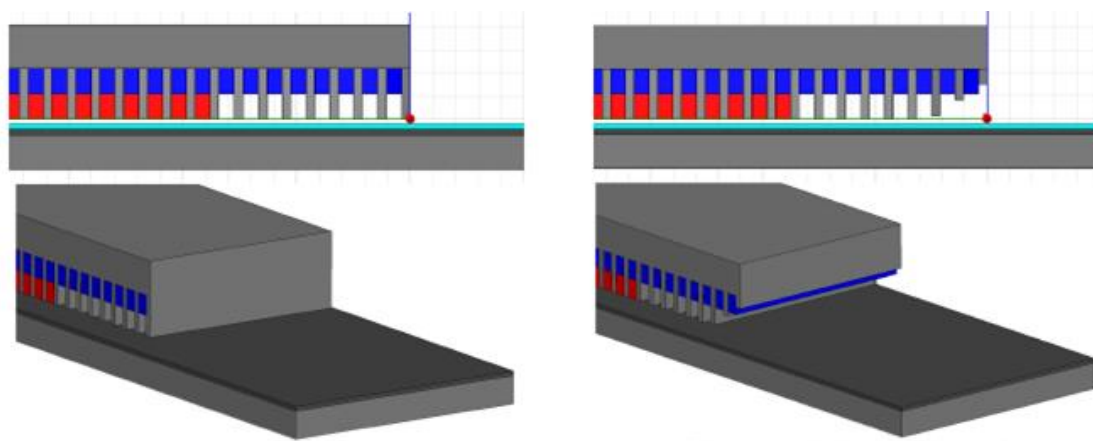


Рис. 8. Исходная конструкция сердечника индуктора (слева) и конструкция с увеличенным воздушным зазором под сбегающим краем индуктора (справа) [21]

Для описания процессов электромеханического преобразования энергии в ЛАД применяется Т-образная схема замещения [1, 10, 22]. Для задач анализа динамических процессов и построения системы управления

T-образная схема замещения ЛАД представляется в d - q осях, при этом схема в q -оси полностью повторяет схему замещения АД традиционного исполнения, а схема в d -оси учитывает краевые эффекты, чем и отличается от схемы замещения вращающегося АД (Рис. 9).

Многие зарубежные исследователи для построения системы управления ЛАД используют подход, предложенный J. Dupan [23], согласно которому поправочный коэффициент, учитывающий влияние вихревых токов, наводимых во ВЭ краевыми эффектами, является безразмерным и определяется равенством

$$f(Q) = (1 - e^{-Q}) \frac{1}{Q},$$

$$Q = \frac{l_r R_r}{V_r L_r},$$

где l_r – длина индуктора;

R_r – активное сопротивление ВЭ;

V_r – скорость движения индуктора;

L_r – индуктивность ВЭ.

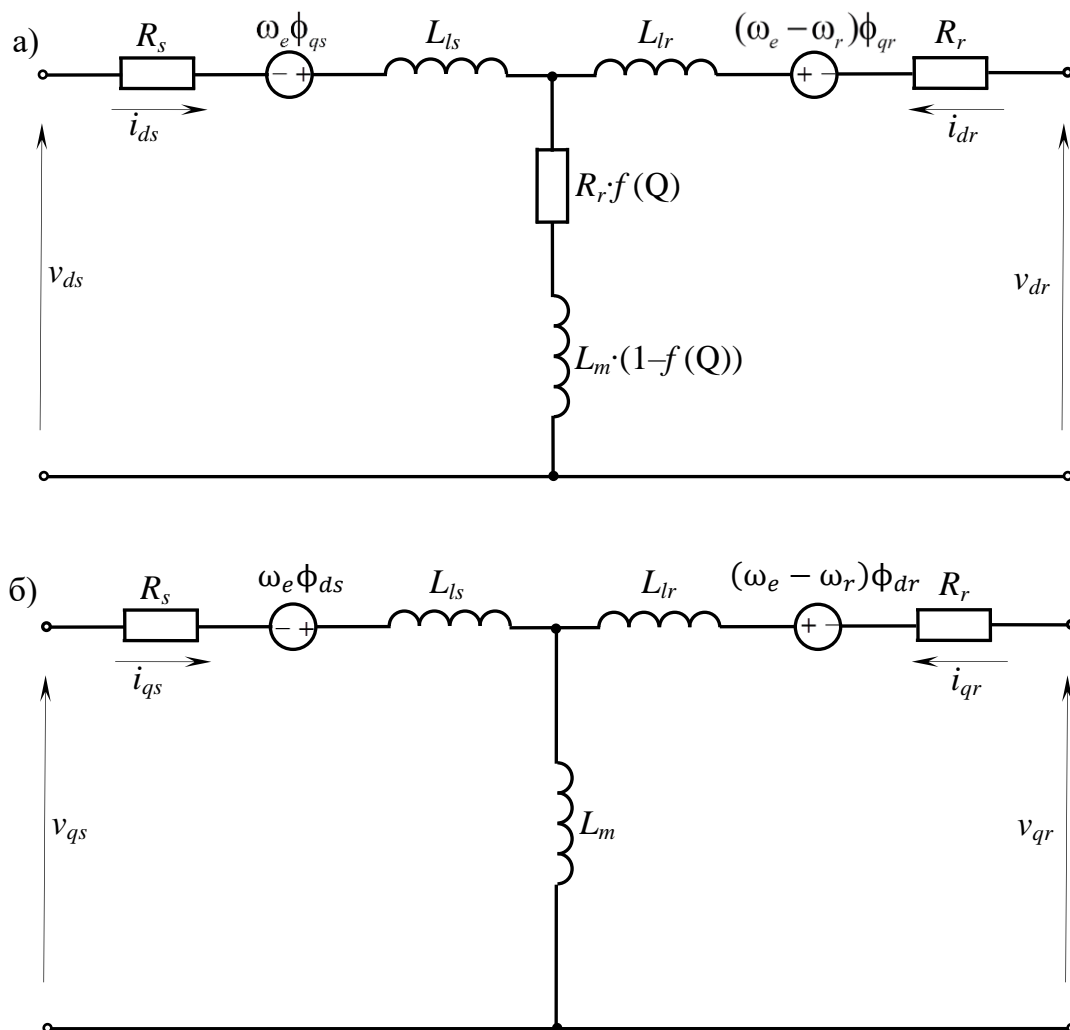


Рис. 9. Схема замещения ЛАД в d -оси (а) и q -оси (б)

Поправочный коэффициент $f(Q)$ вводится в ветвь намагничивания T-образной схемы замещения ЛАД по d -оси.

T-образной схеме замещения ЛАД в d - q осях соответствует следующая система уравнений [24]

$$\begin{aligned}v_{ds} &= R_s i_{ds} + R_r f(Q)(i_{ds} + i_{dr}) + D\phi_{ds} - \omega_e \phi_{qs}, \\v_{qs} &= R_s i_{qs} + D\phi_{qs} + \omega_e \phi_{ds}, \\v_{dr} &= R_r i_{dr} + R_r f(Q)(i_{ds} + i_{dr}) + D\phi_{dr} - (\omega_e - \omega_r)\phi_{qr} = 0, \\v_{qr} &= R_r i_{qr} + D\phi_{qr} + (\omega_e - \omega_r)\phi_{dr} = 0, \\\phi_{ds} &= L_{lr} i_{ds} + L_m(1 - f(Q))(i_{ds} + i_{dr}), \\\phi_{qs} &= L_{ls} i_{qs} + L_m(i_{qs} + i_{qr}), \\\phi_{dr} &= L_{lr} i_{dr} + L_m(1 - f(Q))(i_{ds} + i_{qr}), \\\phi_{qr} &= L_{lr} i_{qr} + L_m(i_{ds} + i_{dr}),\end{aligned}$$

где D – оператор дифференцирования.

Тяговое усилие определяется выражением:

$$F_e = \frac{3}{2} p \frac{\pi}{\tau} \frac{L_m(1 - f(Q))}{L_r - L_m f(Q)} (\phi_{dr} i_{qs} - \phi_{qr} i_{ds})$$

где p – число полюсов ЛАД;

Последнее выражение может быть приведено к виду:

$$F_e = \frac{3}{2} p \frac{\pi}{\tau} \frac{L_m(1 - f(Q))}{(L_r - L_m f(Q))} \phi_{dr} i_{qs}.$$

Один из возможных вариантов построения системы управления односторонним ЛАД на основе приведенных выше уравнений, реализующий не прямое управление с ориентацией по полю с учетом краевых эффектов, представлен в работе [24] (Рис. 10).

Выходные сигналы системы управления с пропорционально-интегральным регулятором для автономного инвертора напряжения, который осуществляет питание обмотки статора ЛАД, имеют вид [24]:

$$\begin{aligned}v_{ds}^* &= \left(K_p + K_i \frac{1}{s}\right) (i_{ds}^* - i_{ds}) - \frac{\pi}{\tau} v_e L_\sigma(Q) i_{qs}^*, \\v_{qs}^* &= \left(K_p + K_i \frac{1}{s}\right) (i_{qs}^* - i_{qs}) + \frac{\pi}{\tau} v_e L_\sigma(Q) i_{ds}^* + p \frac{L_m}{L_r} \frac{\pi}{\tau} v_r \phi_{dr},\end{aligned}$$

где общая индуктивность рассеяния определяется выражением:

$$L_\sigma(Q) = L_s - L_m f(Q) - \frac{[L_m(1 - f(Q))]^2}{L_r - L_m f(Q)}.$$

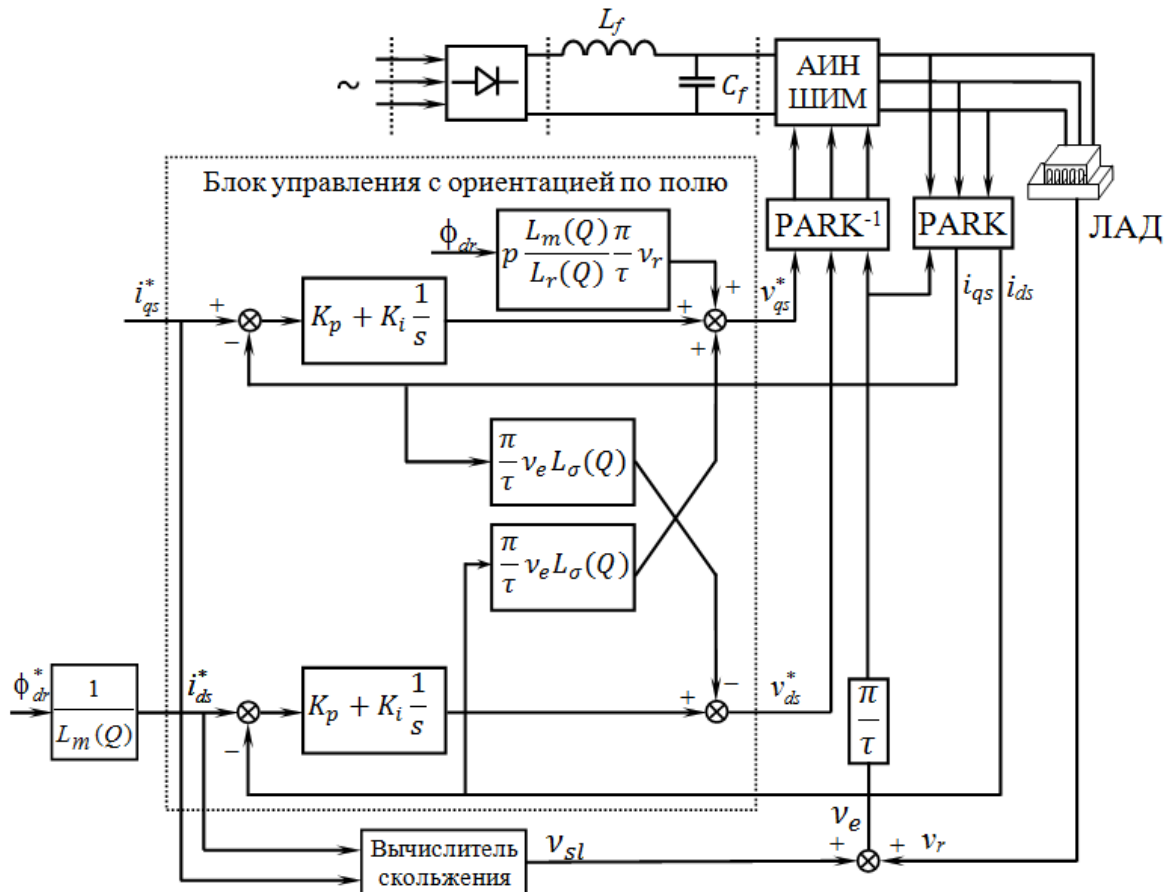


Рис. 10. Вариант структурно-функциональной схемы системы управления ЛАД с учетом влияния краевых эффектов

МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ПРИВОДА В ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

ЛАТП является альтернативой традиционному тяговому приводу на базе асинхронного двигателя вращательного движения, реализующему силу тяги за счет сцепления колеса с рельсом. Наибольшее распространение линейный привод получил для городских железных дорог, как наземного, так и подземного заложения, реализующих относительно невысокие скорости движения (до 100-120 км/ч). Несмотря на имеющиеся недостатки, ЛАД является конкурентоспособным и нашел применение в транспортных системах крупных городов (Табл. 1).

К настоящему времени во многих городах Канады, США, Японии, Южной Кореи, Китая и Малайзии в эксплуатации находится свыше 300 км городских железных дорог и более 1800 единиц подвижного состава с линейным асинхронным тяговым приводом, включая системы с магнитным подвесом.

Таблица. Городские железные дороги с ЛАТП

Город, страна	Год начала эксплуатации	Длина, км	Кол-во единиц подв. состава
Торонто (Канада)	1985	6,4	112
Ванкувер (Канада)	1986, 2002	49,5	298
Детройт (США)	1987	4,7	12
Осака (Япония)	1990, 2006	26,9	180
Токио (Япония)	1991, 2000	40,7	472
Куала-Лумпур (Малайзия)	1998	46,7	266
Кобе (Япония)	2001	7,9	30
Нью-Йорк (США)	2003	13	32
Фукуока (Япония)	2005	12	68
Нагоя (Япония)	2005	8,9	27
Пекин (Китай)	2008	28,1	40
Йокогама (Япония)	2008	13	68
Гуанчжоу (Китай)	2009	31,9	192
Йончжин (Китай)	2013	18,1	32
Инчхон (Южная Корея)	2014	6,1	12
Сендай (Япония)	2015	13,9	60
Чанша (Китай)	2016	18,6	н.д.
Пекин (Китай)	2017	9,1	н.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тяговый привод на основе ЛАД по сравнению с традиционным тяговым приводом и реализующим тяговое усилие за счет силы сцепления колеса с рельсом, имеет ряд существенных преимуществ, позволяющих упростить и удешевить строительство городских железных дорог, особенно в условиях плотной городской застройки, облегчить конструкцию подвижного состава, уменьшить шум и износ колес и рельсов, а также реализовывать большие ускорения в пуско-тормозных режимах за счет непосредственной реализации тягового усилия между магнитным полем индуктора ЛАД, размещенного на экипаже, и током вторичного элемента (как правило, проводящей реактивной шиной), размещенной на путевом полотне. Несмотря на имеющиеся недостатки ЛАД, связанные в первую очередь с возникновением краевых эффектов и большими воздушными зазорами между индуктором и реактивной шиной, отмеченные преимущества этого типа тягового привода привлекают внимание городских администраций и транспортных компаний, выполняющих городские перевозки, и в ряде случаев могут составлять реальную конкуренцию традиционным системам городского рельсового транспорта.

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. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с. [Veselovsky ON, Konyaev AJu, Sarapulov FN. *Lineinye asinkhronnye dvigateli*. Moscow: Energoatomizdat, 1991. 256 p. (in Russ.)].
2. 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.
3. 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
4. Чехова А.А., Соломин А.В. Тяговый линейный асинхронный двигатель для городского МАГЛЕВ транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т.6. – № 1. – С. 120–128. [Chekhova AA, Solomin AV. Traction Linear Induction Motor of Urban MAGLEV Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(1):120-128. (In Russ., Engl.). doi: 10.17816/transsyst202061120-128
5. Isobe E. Linear Metro Transport System for the 21th Century. *Hitachi Review*. 1999;48(3):144-148.
6. Nonaka S, Higuchi T. Design of a Single Sided Linear Induction Motors for Urban Transit. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1988;37(3):167-173. doi: 10.1109/25.16543
7. Zhu K, Wang YM, Fan JF. Influence of Reaction Plate's Material and Configuration on the Performance of LIM Urban Transit Vehicle. *Urban Mass Transit*. 2007;10(9):55-57.
8. Соломин В.А., Соломин А.В., Замшина Л.Л. Линейные асинхронные тяговые двигатели для высокоскоростного подвижного состава и их математическое моделирование. – М.: ФГБОУ УМЦ ЖДТ, 2015. – 164 с. [Solomin VA, Solomin AV, Zamshina LL. *Lineinye asinkhronnye dvigateli dla vysokoskorostnogo podvzhnogo sostava i ikh matematicheskoye modelirovanie*. Moscow: FGBOU UMC ZHDT; 2015. 164 p. (In Russ.)].
9. 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.)].
10. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 180 с. [Yamamura S. *Teoria lineinykh asinkhronnykh dvigatelei*. Leningrad: Energoatomizdat; 1983. 180 p. (In Russ.)].
11. Nozaki Y, Koseki T, Masada E. Analysis of Linear Induction Motor for HSST and Linear Metro using Finite Difference Method. 5th International Symposium on Linear Drives for Industrial Applications. Proc. LDIA-2005. pp. 168-171.
12. Скобелев В.Е., Соловьев Г.И., Епифанов А.П. Анализ путей улучшения характеристик тяговых линейных асинхронных двигателей для высокоскоростного наземного транспорта // Железные дороги мира. – 1978.

- № 2. – С. 3–12. [Skobelev VE, Soloviev GI, Epifanov AP. Analiz putei uluchshenia kharakteristik tiagovykh lineinykh asinkhronnykh dvigatelei dla vysokoskorostnogo nazemnogo transporta. *Zheleznye Dorogi Mira*. 1978;2:3-12. (In Russ.)].
13. Соловьев Г.И. Трехмерная теория линейных асинхронных двигателей. Исследование путей улучшения их характеристик применительно к высокоскоростному наземному транспорту: дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.01. – Ленинград, 1978. – 212 с. [Soloviev GI. Trekhmernaya teoriya lineinykh asinkhronnykh dvigatelei. Issledovanie putei uluchshenia ikh kharakteristik primenitelno k vysokoskorostnomu nazemnomu transportu [dissertation]. Leningrad; 1978. 212 p. (In Russ.)].
14. Епифанов А.П. Основные вопросы проектирования тяговых линейных асинхронных двигателей. Ч.1, Ч.2, Ч.3 // *Электротехника*. – 1992, №№ 1, 6, 10. [Epifanov A.P. *Osnovnye voprosy proektirovaniya tiagovykh lineinykh asinkhronnykh dvigatelei*. P.1, P.2, P.3. *Elektrotehnika*. 1992; 1,6,10. (in Russ.)].
15. Ким К.К., Иванов С.Н. Моделирование комбинированного электропривода // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2019. – Т. 62. – № 3. – С. 44–50. [Kim KK, Ivanov SN. Modelling of the Combined Electric Drive. *South Russian State Polytechnic University (NPI). Электромеханика*. 2019;62(3):44-50. (In Russ.)] doi:10.17213/0136-3360-2019-3-44-50
16. Fujii N, Hoshi T, Tanabe Y. Methods for Improving Efficiency of Linear Induction Motor for Urban Transit. *JSME International Journal, Series C*. 2004;47(2):512-517. doi: 10.1299/jsmec.47.512
17. He Y, Wang Y-S, Lu Q, et al. Design of Single-Sided Linear Induction Motor for Low-Speed Maglev Vehicle in 160 km/h and Variable Slip Frequency Control. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(2):120-128. doi: 10.17816/transsyst201842120-128
18. 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 dvigatel'ia kak ob'ekta upravleniia*. *Ekaterinburg*. UGTU. 1999. 229 p. (In Russ.)].
19. Епифанов А.П., Лебедев А.М., Скобелев В.Е. и др. Исследование интегральных нормальных сил в тяговом линейном асинхронном двигателе // *Известия вузов. Электромеханика*. – 1984. – № 4. – С. 28–34. [Epifanov AP, Lebedev AM, Skobelev VE, et al. Issledovanie integralnykh normalnykh sil v tiagovom lineinom asinkhronnom dvigatele. *Izvestia vuzov. Elektromekhanika*. 1984;4:28-34. (In Russ.)].
20. Епифанов А.П., Лебедев А.М., Скобелев В.Е. и др. Метод исследования плотности распределения нормальных сил в одностороннем линейном асинхронном двигателе // *Известия вузов. Электромеханика*. – 1985. – № 1. – С. 91–96. [Epifanov AP, Lebedev AM, Skobelev VE, et al. Metod issledovaniia plotnosti raspredeleniia normalnykh sil v odnostoronnem lineinom asinkhronnom dvigatele. *Izvestia vuzov. Elektromekhanika*. 1985;1:91-96. (In Russ.)].
21. Lee H-W, Park C-B, Lee B-S. Thrust Performance Improvement of a Linear Induction Motor. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2011;6(1):81-85. doi: 10.5370/JEET.2011.6.1.081
22. Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф., Шымчак П. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. – 236 С. [Sarapulov FN, Sarapulov SF, Shymchak P.

Matematicheskie modeli lineinykh induktsionnykh mashin na osnove skhem zameschenia. Ekaterinburg: UGTU-UPI; 2011. 236 p. (In Russ.).

23. Duncan J. Linear Induction Motor Equivalent Circuit Model. *Transportation Technology*. IEE Proceedings. 1983;130(5):51-57.
24. Boucheta A, Bousserhane IK, Hazzab A, Sicard P, Fellah MK. Speed Control of Linear Induction Motor Using Sliding Mode Controller Considering the End Effects. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2012;7(1):34-45. doi: 10.5370/JEET.2012.7.1.34

Сведения об авторах:

Никитин Виктор Валерьевич, доктор технических наук, доцент;

адрес: 190031, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 9;

e-Library SPIN: 6864-5678; ORCID: 0000-0002-5699-0424;

E-mail: pgups.emks@mail.ru

Стрепетов Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент;

e-Library SPIN: 4649-2141; ORCID 0000-0002-4072-4519;

E-mail: strepetov.vm@mail.ru

Information about the authors:

Viktor V. Nikitin, Doctor of Technical Sciences, Professor;

e-Library SPIN: 6864-5678; ORCID: 0000-0002-5699-0424;

E-mail: pgups.emks@mail.ru

Vladimir M. Strepetov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-Library SPIN: 4649-2141; ORCID 0000-0002-4072-4519;

E-mail: strepetov.vm@mail.ru

Цитировать:

Никитин В.В., Стрепетов В.М. Линейный асинхронный тяговый привод в городских рельсовых и магнитолевитационных транспортных системах // *Транспортные системы и технологии*. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 5–24. doi: 10.17816/transsyst2020645-24

To cite this article:

Nikitin VV, Strepetov VM. Linear Asynchronous Traction Drive in Urban Rail and Maglev Transport Systems. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):5-24. doi: 10.17816/transsyst2020645-24

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.879:622.2
DOI 10.17816/transsyst20206425-44

© **В. В. Москвичев¹, М. А. Ковалев²**

¹Красноярский филиал

Федерального исследовательского центра
информационных и вычислительных технологий
(Красноярск, Россия)

²ООО «УК «Сибантрацит»
(Новосибирск, Россия)

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ КАНАТНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Аннотация. Стремительно развивающаяся тенденция снижения цен на уголь на мировом рынке, которая наблюдается в 2019–2020 гг., в совокупности с более медленными темпами снижения операционных затрат на производство будет вынуждать производителей угля поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. Поддержание и повышение надежности работы горновыемочного оборудования достижимо в том числе за счет проведения исследований эксплуатационной надежности основных групп оборудования и их компонентов с целью минимизации количества незапланированных простоев и поддержания оборудования в работоспособном состоянии.

В статье представлены результаты исследования эксплуатационной надежности основных групп оборудования и их компонентов канатных карьерных экскаваторов в условиях угольного разреза «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» за 2017–2019 гг. По результатам исследования проведено рейтинговое ранжирование групп оборудования экскаваторов марки ЭКГ-10 по надежности. Установлено, что наиболее высокую наработку на отказ среди анализируемого парка экскаваторов имеет группа оборудования «система смазки», а самую низкую наработку на отказ – группа «механическое оборудование».

Сделан вывод о текущем уровне надежности по основным группам оборудования экскаваторов и определены компоненты оборудования, требующие повышения эксплуатационной надежности. Разработаны рекомендации по поддержанию и повышению уровня надежности горновыемочного оборудования в условиях эксплуатации на разрезе «Колыванский».

Ключевые слова: канатные карьерные экскаваторы, ЭКГ-10, надежность экскаваторов, наработка на отказ, среднее время восстановления, рейтинг надежности.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field –Electrical Engineering

© Vladimir V. Moskvichev¹, Maksim A. Kovalev²

¹ Krasnoyarsk Branch Federal Research Center

Information and Computing Technologies

(Krasnoyarsk, Russia)

² LLC “MC “Sibanthracite”

(Novosibirsk, Russia)

ASSESSMENT OF OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PIT ROPE-OPERATED EXCAVATORS

***Annotation.** The results of the study of operation reliability indicators of rope-operated excavators for 2017–2019 in the conditions of the Kolyvansky coal mine of Siberian Anthracite JSC are presented. The analysis of changes in reliability indicators of the main groups of equipment is performed. The conclusion is made about the current level of reliability for the main groups of excavator equipment and the components of the equipment that require increasing operational reliability are identified. The rating of reliability among rope-operated excavators used in the conditions of the Kolyvansky coal mine has been compiled. Recommendations have been developed to maintain and improve the reliability of the main groups of equipment and they components for rope-operated excavators in operating conditions at the Kolyvansky coal mine.*

***Keywords:** mining equipment, rope excavators, excavator reliability, time to failure, average recovery time, excavator reliability rating.*

ВВЕДЕНИЕ

В июне 2020 г. Правительство РФ утвердило Программу развития угольной промышленности России на период до 2035 г. По итогам реализации данной программы ожидается, что объемы добычи угля будут варьироваться в диапазоне от 485 млн т до 668 млн т в 2035 г. в зависимости от спроса на внутреннем и внешнем рынках угля. Доля открытой добычи угля предполагается на момент окончания программы на уровне 80–83 % или 390–554 млн т, при среднегодовой мощности разреза 4 млн т [1].

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики в 2019 г. в России объем добычи бурого и каменного угля составил 439,2 млн т, из которых открытым способом 334,2 млн т, при этом степень износа основных фондов предприятий по добыче полезных ископаемых на начало 2019 г. составила по группам: «машины и оборудование» – 64,6 %, «транспортные средства» – 60,4 % [2]. Стоящие перед угольной отраслью задачи по увеличению среднегодовой производственной мощности угольных разрезов с 2,5 до 4 млн т или в 1,6 раза с одновременным

увеличением производительности труда могут быть достигнуты как за счет введения в эксплуатацию нового более производительного оборудования, которым являются экскаваторы большей единичной мощности, так и за счет повышения надежности работы эксплуатируемого парка карьерных экскаваторов.

В 2019 г. по сравнению с предыдущими годами отмечено значительное снижение цен на уголь на мировом рынке (на 10–40 % в разные периоды в течение года) [3]. Данная тенденция снижения цен на уголь в совокупности с более медленной тенденцией снижения операционных затрат на производство не позволит угольным компаниям в ближайшее время осуществить реновацию парка горнодобывающей техники. Угольные компании будут вынуждены поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. В тоже время ежегодный рост эксплуатационных затрат наряду со снижением наработки экскаватора и его остаточного ресурса ведут к неэффективному использованию ресурсов угледобывающих предприятий. Для достижения поставленных целей необходимо проводить оценку условий эксплуатации парка горновыемочного оборудования и минимизировать количество незапланированных простоев, которые могут достигать до 35 % фонда рабочего времени карьерных экскаваторов [4].

На надежность работы канатных карьерных экскаваторов оказывают влияние геология месторождения, температура окружающей среды, нагруженность, технология разработки, качество проведения буровзрывных работ, подготовки забоя, уровень квалификации машиниста. Указанные факторы приводят к изменению технического состояния систем и компонентов систем экскаваторов (механической, электрической, металлоконструкций и пр.), что является основными причинами простоя экскаваторов [4, 5, 6, 7]. Анализ показателей наработки позволяет выявить наименее надежные системы экскаватора и разработать мероприятия по повышению их производительности.

С целью повышения эффективности использования экскаваторного парка на разрезе «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» (Искитимский район, Новосибирская область) проанализирована работа канатных карьерных экскаваторов (ККЭ) ЭКГ-10 производства дочерних предприятий ОАО «ОМЗ» (Объединённые машиностроительные заводы) (Табл. 1) за период 2017–2019 гг. и исследованы показатели эксплуатационной надежности: среднее время между отказами – МТБФ, час., среднее время восстановления системы после отказа – МТТР, час., коэффициент готовности – кг; вероятность безотказной работы – $P(t)$ в соответствии с [8, 9].

Таблица 1. Основные технические параметры ККЭ на разрезе «Колыванский»

Параметры	ЭКГ-10
Исходный объем ковша, м ³	10
Средняя наработка на 01.01.20 г., м/ч	23 677
Год ввода в эксплуатацию	2008-2014
Эксплуатационная масса, т	442
Давление на грунт, кПа	204
Расчетная продолжительность цикла на угол 900, с	26
Количество эксплуатируемых экскаваторов, ед.	5

СТРУКТУРА ПРОСТОЕВ ОСНОВНЫХ ГРУПП ОБОРУДОВАНИЯ ПАРКА ККЭ

В статистику отказов оборудования парка ККЭ включены простои следующих основных групп: механическое оборудование, электрическое оборудование, система смазки, а также простои по причинам, оказывающим влияние на восстановление и время нахождения экскаватора в работе. К ним относятся ожидание ремонта – «ожидание ремонта в сервисе», «отсутствие ремонтной бригады», «отсутствие запасных частей» и внешние причины – «отключение внешнего электроснабжения», «климатические условия», «остановка контролирующими органами».

Как видно из Табл. 2 и Рис. 1, основные группы отказов экскаваторов составляют отказы механической (54,8 %) и электрической (17,5 %) систем, что подтверждает выводы, полученные в [6].

Таблица 2. Структура простоев ККЭ в разрезе основных групп оборудования за 2017–2019 гг.

№	Категория отказа по группе оборудования	ЭКГ-10
1	Механическое (МО)	54,8 %
2	Электрическое (ЭО)	17,5 %
3	Система смазки (СС)	0,5 %
4	Ожидание ремонта (ОР)	9,3 %
5	Внешние причины (ВП)	17,9 %

Высокий уровень простоев по группе «ожидание ремонта» обусловлен непроведением ремонтов в ночную смену и отсутствием запасных частей. По группе «внешние причины» наибольшее количество простоев получено в связи с отсутствием электрической энергии внутри участка или от подстанции.

Исследованием показателей надежности основных систем канатных карьерных экскаваторов и повышением их производительности занимались как российские, так и иностранные авторы. Результаты анализа отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов

приведены в работе [10], результаты комплексной оценки факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗ-КАРТЭКС представлены в [5], причины и характер хрупких разрушений металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10 рассматривались в [11], закономерности изменения наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования анализировались в [12], исследования напряженного состояния сочлененной стрелы карьерного экскаватора ЭКГ-15 представлены в [13], опыт применения канатных экскаваторов на карьере Мурунтау Навоийского ГМК отражен в [14]. В работах зарубежных авторов рассматривались причины разрушения конструкции ковшового колесного экскаватора [15], отказы рабочего оборудования ковшового экскаватора ERS 1250 Gacko в [16], результаты испытаний и анализа сложных динамических нагрузок, выполненных на ковшовом экскаваторе SchRs 650/5 × 24 Krup в [17].

Обобщая результаты проведенных исследований следует отметить, что повышение общего уровня эксплуатационной надежности ККЭ может быть достигнуто за счет обеспечения безотказной работы всех его компонентов основных систем.

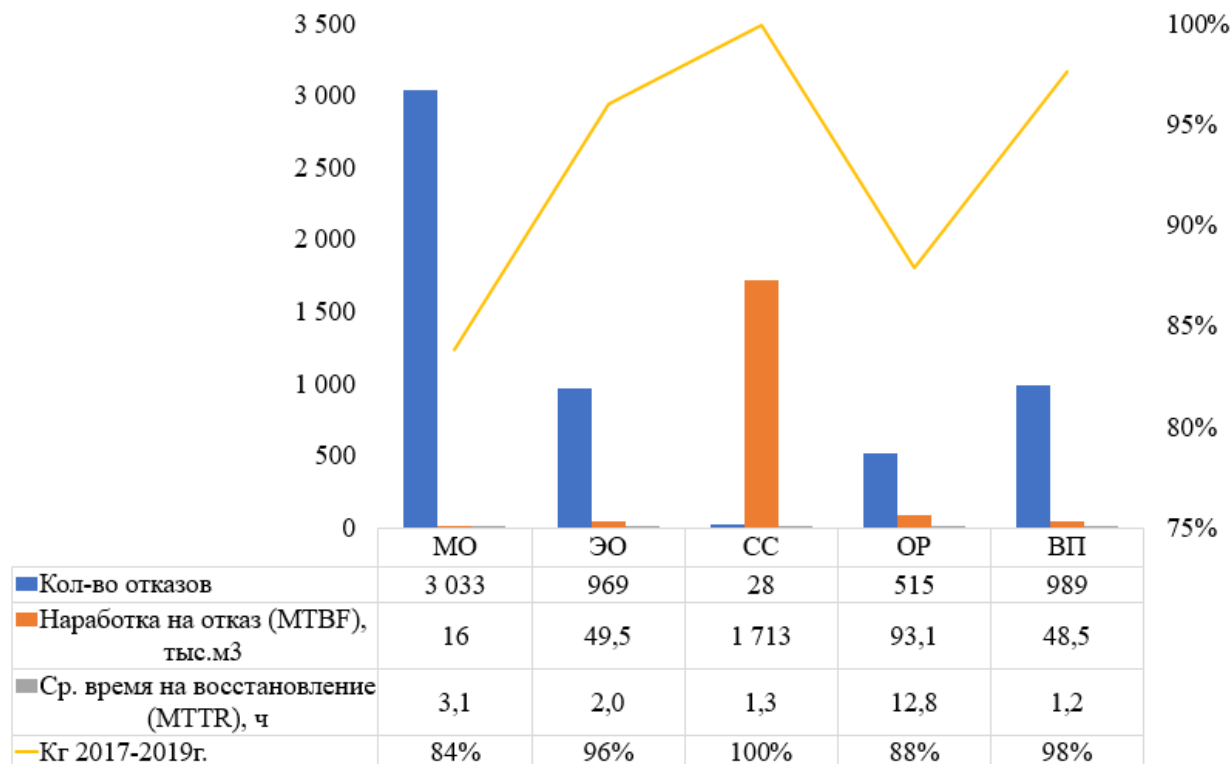


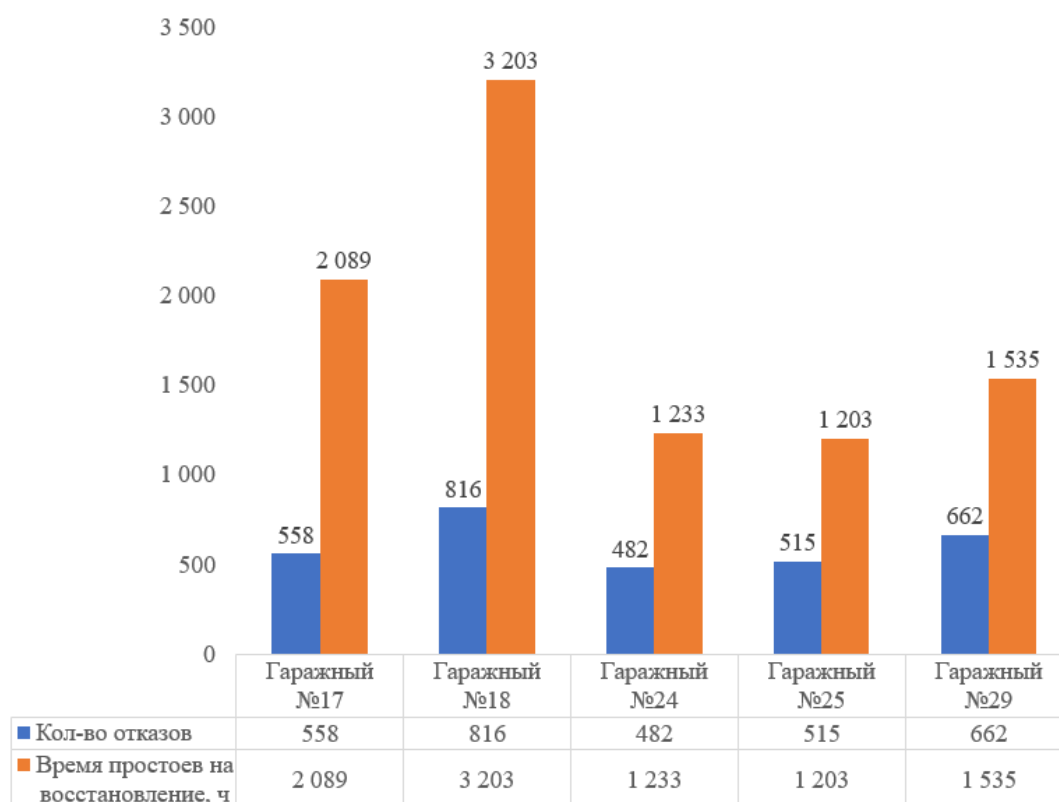
Рис. 1. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по основным группам и показателям их оценки: MTBF, MTTR

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

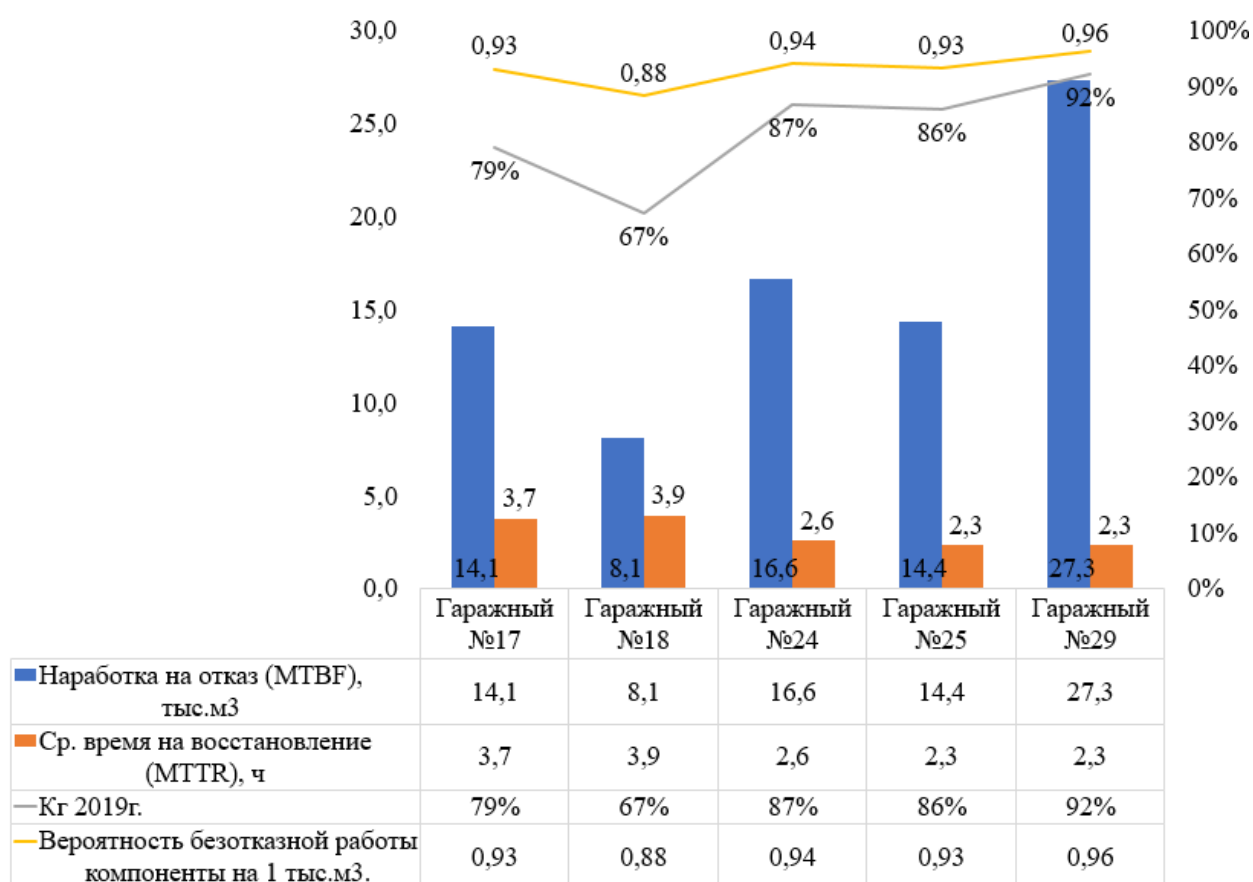
По категории «механическое оборудование» у экскаваторов ЭКГ-10 отмечено суммарное количество отказов 3033 общей продолжительностью 9 263 часа, средняя наработка на отказ МТВФ составила 15,81 тыс м³, среднее время восстановления МТТР – 3,1 часа, коэффициент готовности МО составил 84 %, вероятность безотказной работы компонентов системы МО – 0,94 на 1 тыс. м³ выемки горной массы (100 ковшей) (Рис. 2).

Наибольшая наработка на отказ наблюдается по экскаватору с гаражным номером № 29 – 27 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,3 часа, наименьшая, по экскаватору № 18 – 8,1 тыс. м³, среднее время на восстановление 3,9 часа.

Наработка на отказ по группе «механическое оборудование» пяти экскаваторов в среднем, оказалась самой низкой из всех групп основного оборудования и составила 12,5 тыс. м³. Доля простоев для восстановления работоспособности механического оборудования составляет 54,8 %. На Рис. 3 представлено распределение уровня надежности среди наиболее весомых компонентов группы «механическое оборудование», удельный вес которых в структуре простоев составил – 78 %. По столбцу итогов приведена информация о простоях по всем компонентам группы МО за 2017–2019 гг.



а)



б)

Рис. 2. Структура unplanned простоев вследствие аварийности по группе МО (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе МО и показателям их оценки: MTBF, MTTR (б)

Наименее надежными узлами группы «механическое оборудование» экскаваторов ЭКГ-10 являются:

- «рабочее оборудование»¹: 1 331 простой (или 44 % от простоев по группе МО) обусловлены следующими отказами: 964 простоя со средним временем на восстановление 0,74 ч – повреждение механизма открывания днища ковша, 86 простоев со средним временем на восстановление 4,2 ч – повреждения металлоконструкций ковша, 131 простой со средним временем на восстановление 6,1 ч – ремонт седлового подшипника, 103 простоя со средним временем на восстановление 0,83 ч – замена зубьев ковша. Наибольшее количество повреждений по подгруппе «рабочее оборудование» зафиксировано по экскаватору № 18 – 326 отказов, наработка на отказ – 20,2 тыс. м³, среднее время на восстановление – 2,4 ч;

¹ В данную подгруппу отнесены простои, обусловленные повреждением основных компонентов рабочего органа: ковш (корпус, днище, зубья, подвеска), рукоять, стрела, седловой подшипник, головные блоки, подвеска стрелы, механизм открывания днища.

- «механизм подъема»²: 547 простоев (или 18 % от простоев по группе МО) в основном обусловлены отказами: 444 простоя со средним временем на восстановление 0,75 ч – замена упругой муфты подъемной лебедки, 35 простоев со средним временем на восстановление 8,4 ч – ремонт/замена двигателя подъема, 68 простоев со средним временем на восстановление 13,4 ч – ремонт/замена редуктора электродвигателя подъемной лебедки. По компоненте «упругая муфта» зафиксировано 81 % простоев по подгруппе «механизм подъема», общей продолжительностью 332,2 ч, наработкой на отказ 108 тыс. м³. Самую низкую наработку «упругая муфта» имеет у экскаватора № 18 – 46,08 тыс. м³, при среднем времени восстановления 0,79 ч;

- «неопределенные простои»: 582 простоя (или 19 % от простоев по группе МО) согласно оперативной отчетности диспетчерской службы разреза «Колыванский» включают в себя: 37 простоев со средним временем на восстановление 6,3 ч – аварийные ремонты (не содержат расшифровки), 545 простоев со средним временем на восстановление 2 ч – прочие механические ремонты (не содержат расшифровки). К данной подгруппе могут относиться любые поломки из выделенных выше подгрупп, что не позволяет однозначно интерпретировать эксплуатационную надежность звеньев системы МО.

Отдельного стоит отметить группу отказов по причине поломок металлоконструкций экскаваторов (рама). По данной группе зафиксировано 100 отказов общей продолжительностью 1 442,74 ч, наработкой на отказ 298,61 тыс. м³ и средним временем восстановления 14,43 ч. Самая низкая наработка по раме выявлена у экскаватора № 18 – 108,3 тыс. м³, при среднем времени восстановления 13,97 ч. При этом по результатам анализа диспетчерской отчетности и Журналов учета неисправностей при эксплуатации ЭКГ-10 не удалось установить истинные причины отказов по раме экскаваторов, так как мелкие отказы в данных журналах не фиксируются. Отметки делаются только при замене дорогостоящих запасных частей и комплектующих, учет наработки между отказами также не ведется.

Общее количество отказов в разрезе компонент группы МО и парка экскаваторов приведены на Рис. 4, удельный вес компонент в структуре отказов по группе МО на Рис. 5.

² В данную подгруппу отнесены простои, обусловленные отказом двигателей и редукторов подъема, упругой муфты.

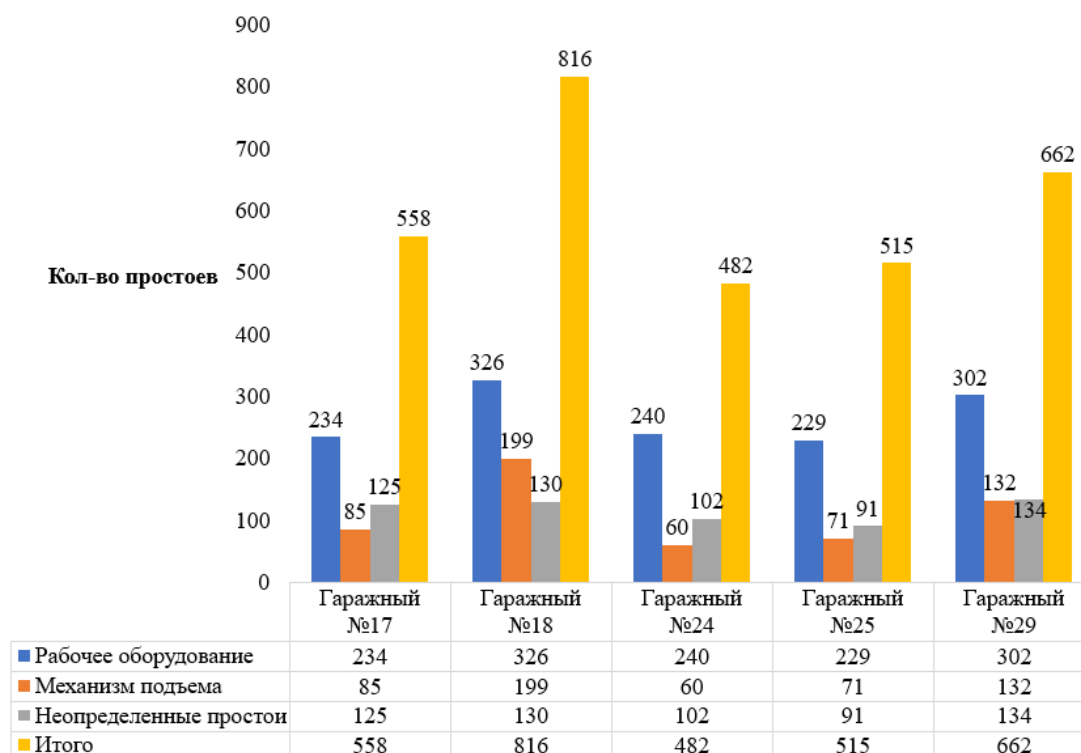


Рис. 3. Гистограмма распределения отказов наиболее весомых компонентов группы МО ЭКГ-10

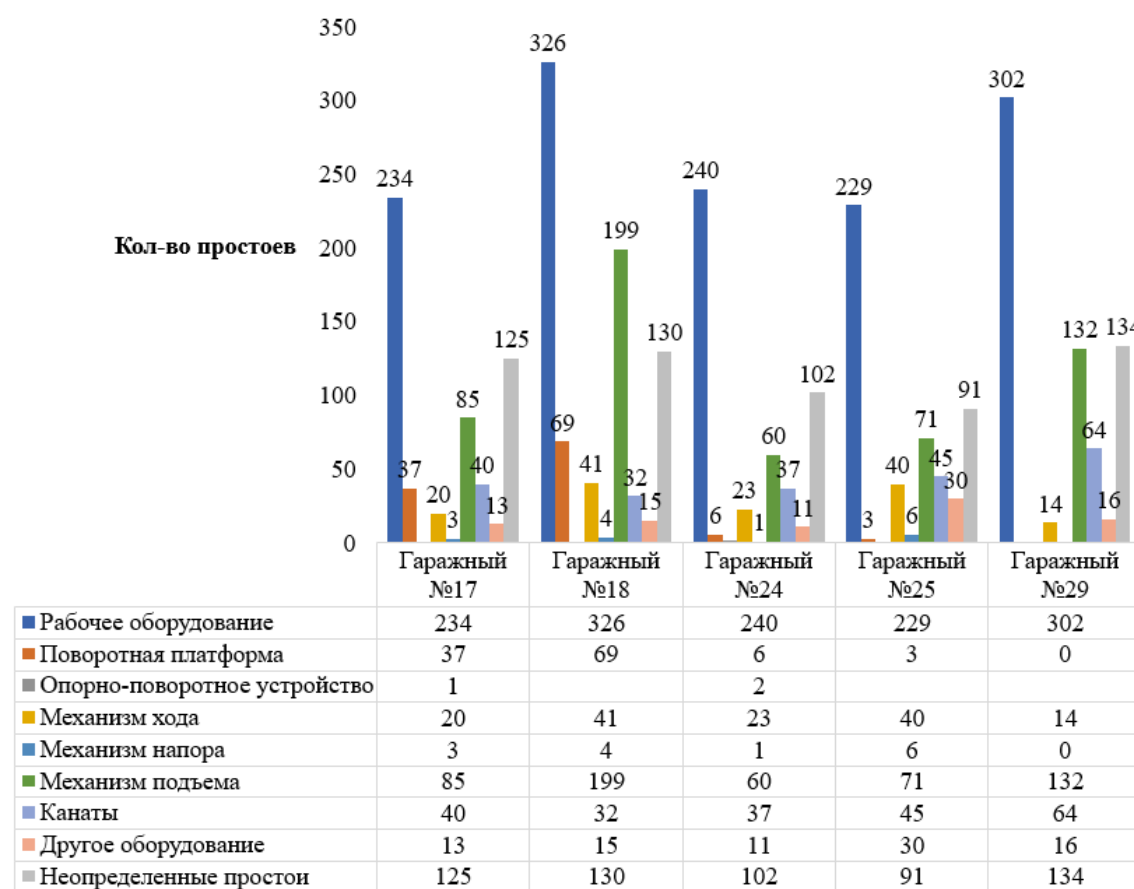


Рис. 4. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе МО

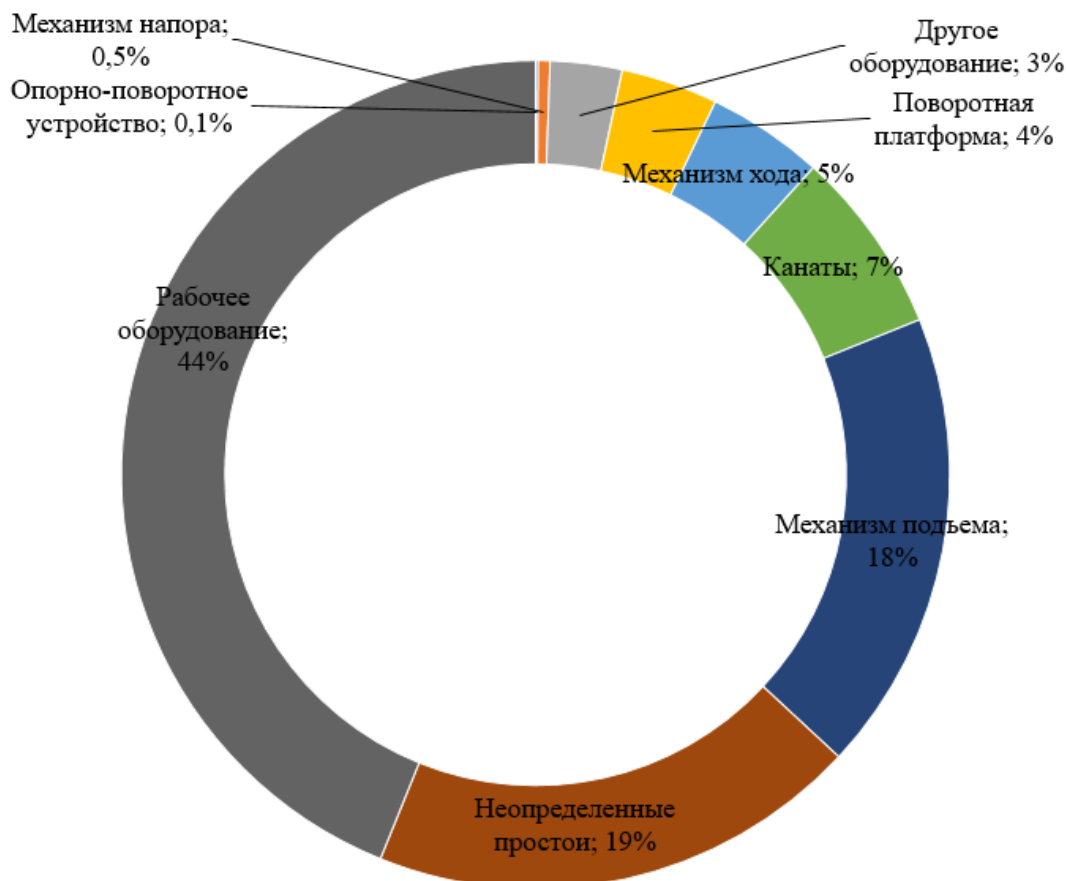


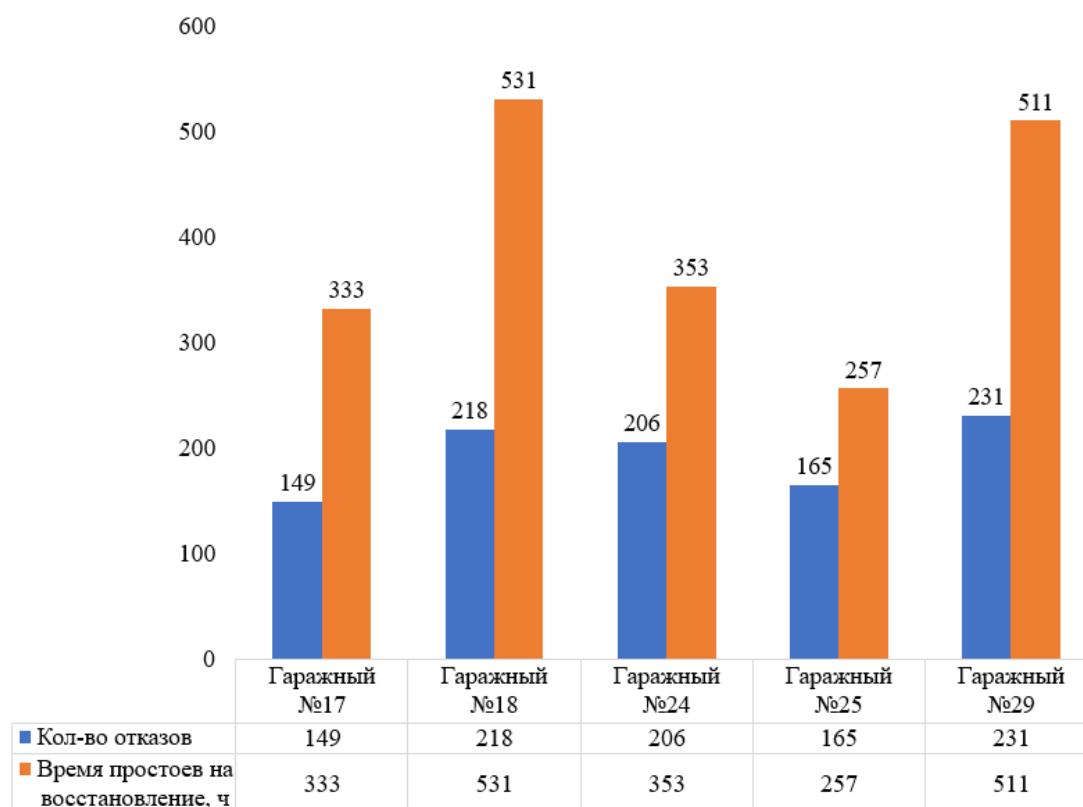
Рис. 5. Удельный вес компонент в структуре отказов по группе МО ЭКГ-10

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

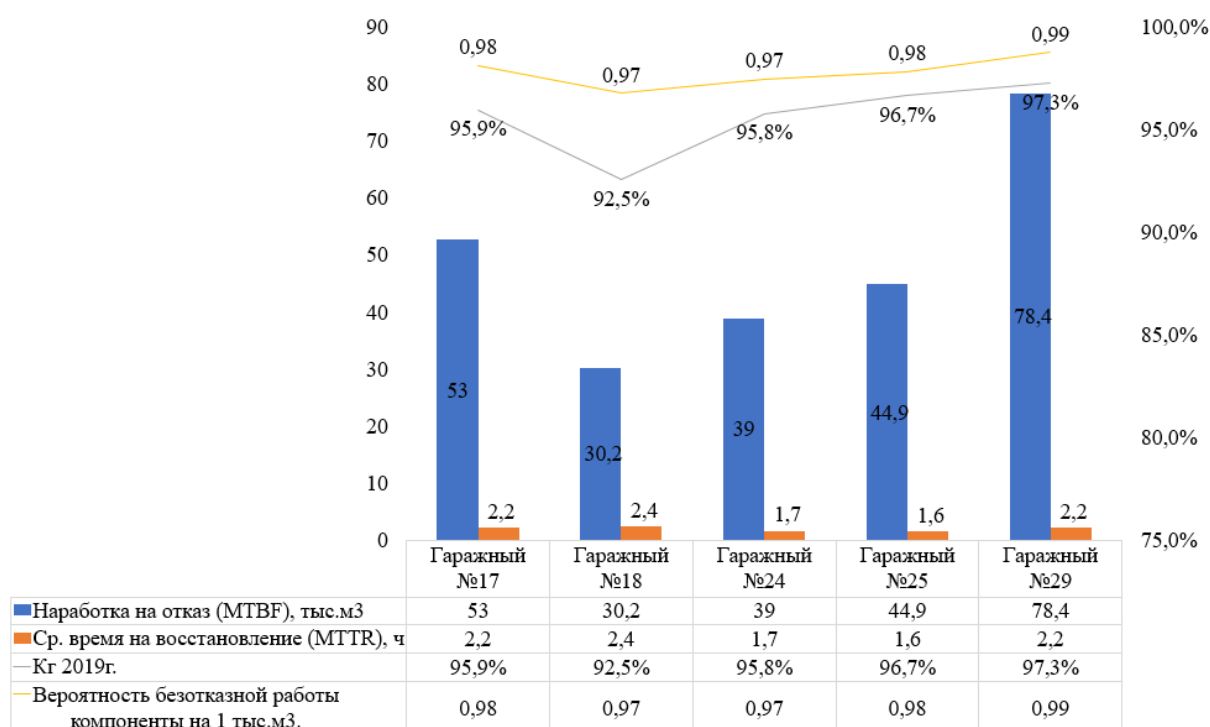
По категории «электрическое оборудование» (Рис. 6) у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 969 общей продолжительностью 1 984 часа, средняя наработка на отказ МТБФ составила 49,5 тыс. м³, среднее время восстановления МТТР – 2 часа, коэффициент готовности ЭО составил 96 %, вероятность безотказной работы компонентов системы МО – 0,98 на 1 тыс. м³ выемки горной массы.

Наибольшая наработка на отказ наблюдается по экскаватору с гаражным номером № 29 – 78 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,2 ч, наименьшая наблюдается у экскаватора № 18 – 30 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,4 ч.

Нарработка на отказ по группе «электрическое оборудование» пяти экскаваторов составила 49,5 тыс. м³. В целом по группе экскаваторов доля простоев для восстановления работоспособности электрооборудования составляет 17,5 %.



а)



б)

Рис. 6. Структура unplanned downtime due to reliability by power plant group (a). Histogram of excavator breakdowns distribution by power plant group and reliability indicators: MTBF, MTTR (b)

Перечень работ по восстановлению работоспособности электрооборудования сводился к диагностике, ремонту и наладке электросистемы, заменам различных элементов электроаппаратуры, например, датчиков, реле, проводов, электродвигателей, генераторов и другого оборудования. Следует обратить внимание, что в категории «электрическое оборудование» имеются простои, которые отнесены к подгруппе «неопределенные простои» и их доля в структуре простоев группы составляет 14 % или 137 простоев. «Неопределенные» простои не позволяют правильно интерпретировать надежность компонентов системы электрического оборудования, так как в эту группу могут быть включены простои по замене различных компонентов электросистемы. Общее количество отказов в разрезе компонент группы ЭО и парка экскаваторов приведены на Рис. 7.

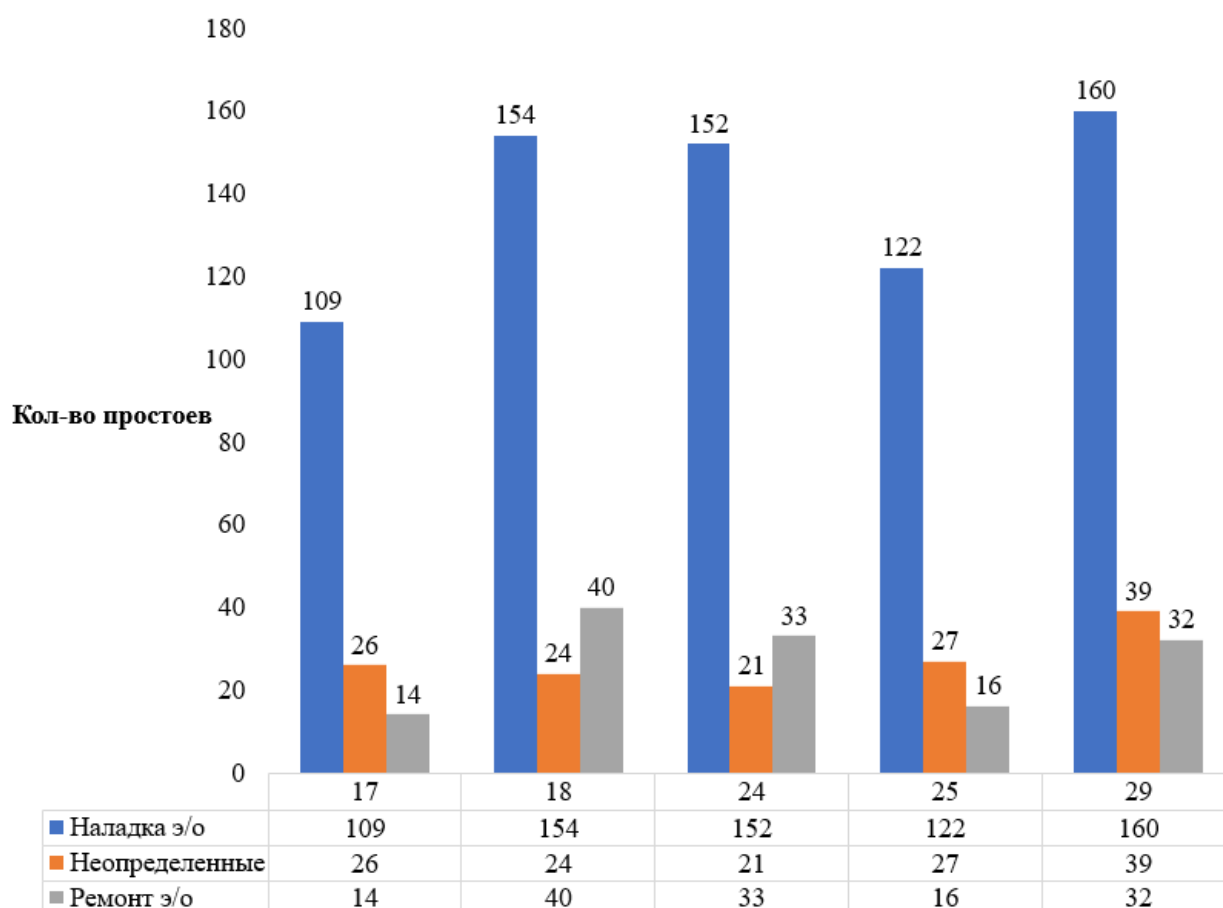
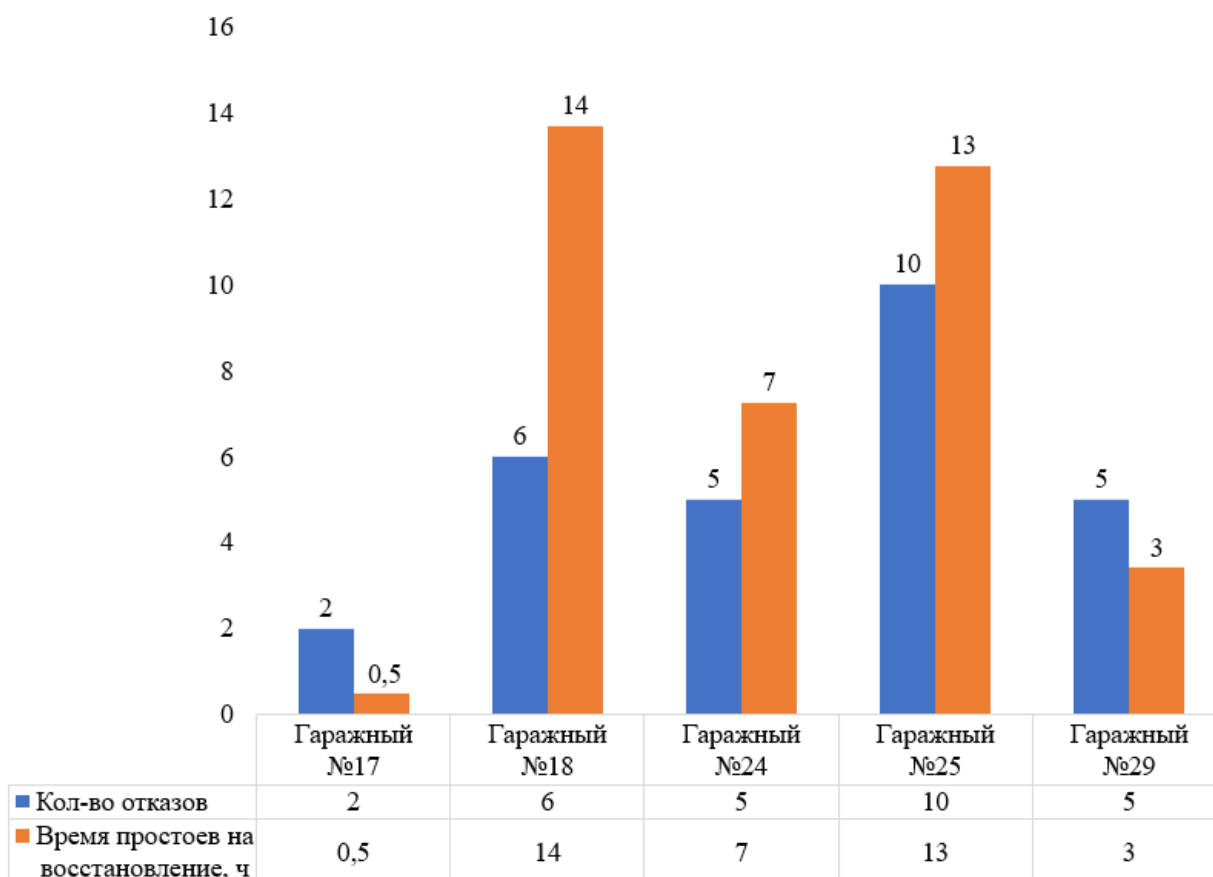


Рис. 7. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе ЭО

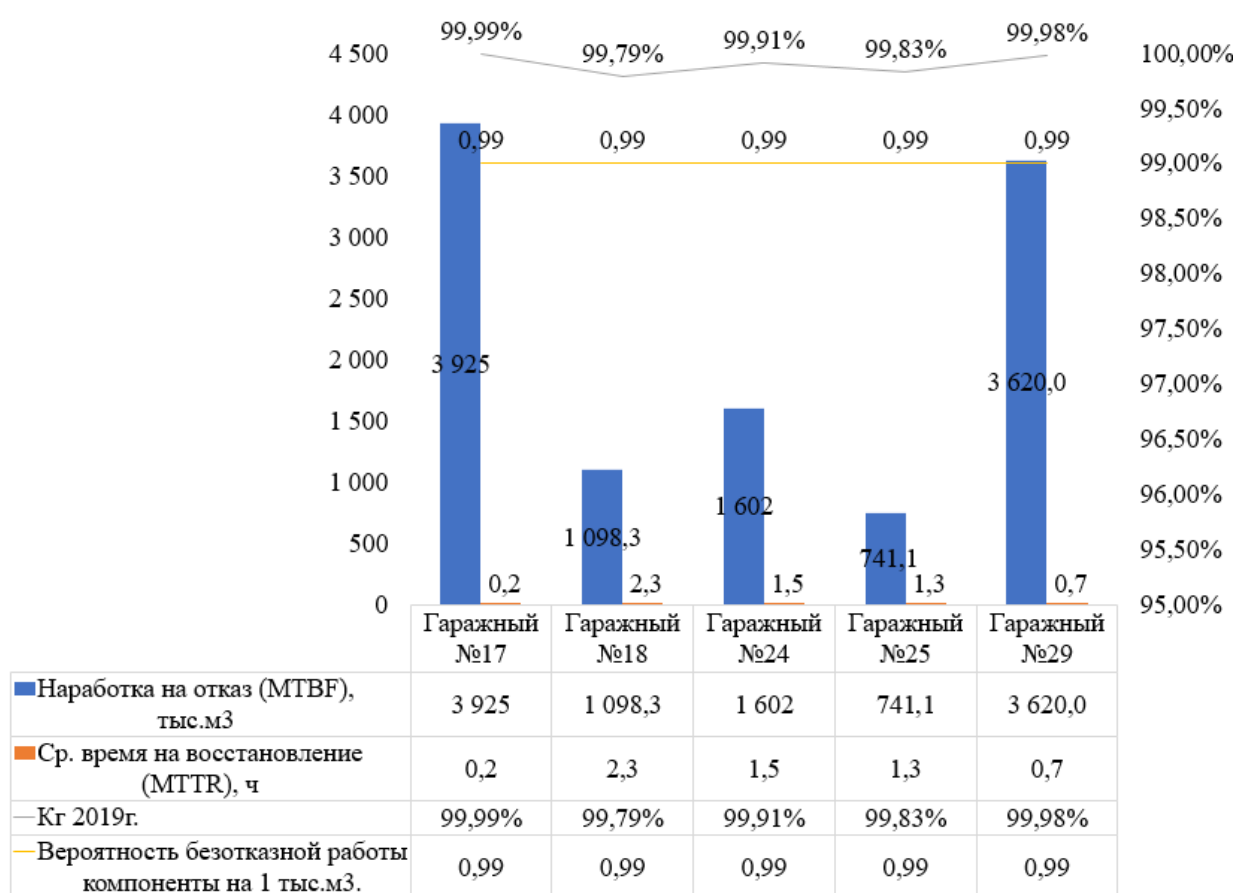
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

По категории «система смазки» (Рис. 8) у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 28 общей продолжительностью 38 часов, средняя наработка на отказ МТBF составила 1 713 тыс. м³, среднее время восстановления МТTR – 1,3 ч, коэффициент готовности ЭО составил 99,9 %, вероятность безотказной работы компонентов СС – 0,99 на 1 тыс. м³ выемки горной массы.

Наибольшая наработка на отказ наблюдается у экскаватора № 17 – 3 925 тыс. м³, среднее время на восстановление 0,2 ч, наименьшая наблюдается у экскаватора № 25 – 741 тыс. м³, среднее время на восстановление 1,3 ч. Нарботка на отказ по группе «система смазки» пяти экскаваторов составила 1 713 тыс. м³. В целом по группе экскаваторов доля простоев для восстановления работоспособности электрооборудования составляет 0,5 %.



а)



б)

Рис. 8. Структура unplanned простоев вследствие аварийности по группе СС (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе СС и показателям их оценки: MTBF, MTTR (б)

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ПО ГРУППЕ «ОЖИДАНИЕ РЕМОНТА»

По категории «ожидание ремонта» у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 515 общей продолжительностью 6 597 ч. При анализе подгрупп, входящих в данную категорию установлено, что 430 отказов общей продолжительностью 5 458 ч приходится на ожидание ремонта, 85 простоев общей продолжительностью 1 570 ч на отсутствие запасных частей. Средняя стоимость 1 ч простоя ККЭ на его производительность в 2019 году рассчитана исходя из прямых затрат (ФОТ персонала, электроэнергия, амортизация, запасные части) составила для парка ЭКГ-10 – 5 079,23 руб./ч. Таким образом, простои по ожиданию ремонта стоили для компании – 7,9 млн. руб., простои по отсутствию запасных частей – 4,9 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях эксплуатации электрических экскаваторов на разрезе «Колыванский» проведен анализ надежности основных групп оборудования ККЭ и их компонентов и составлен рейтинг надежности (Рис. 9).

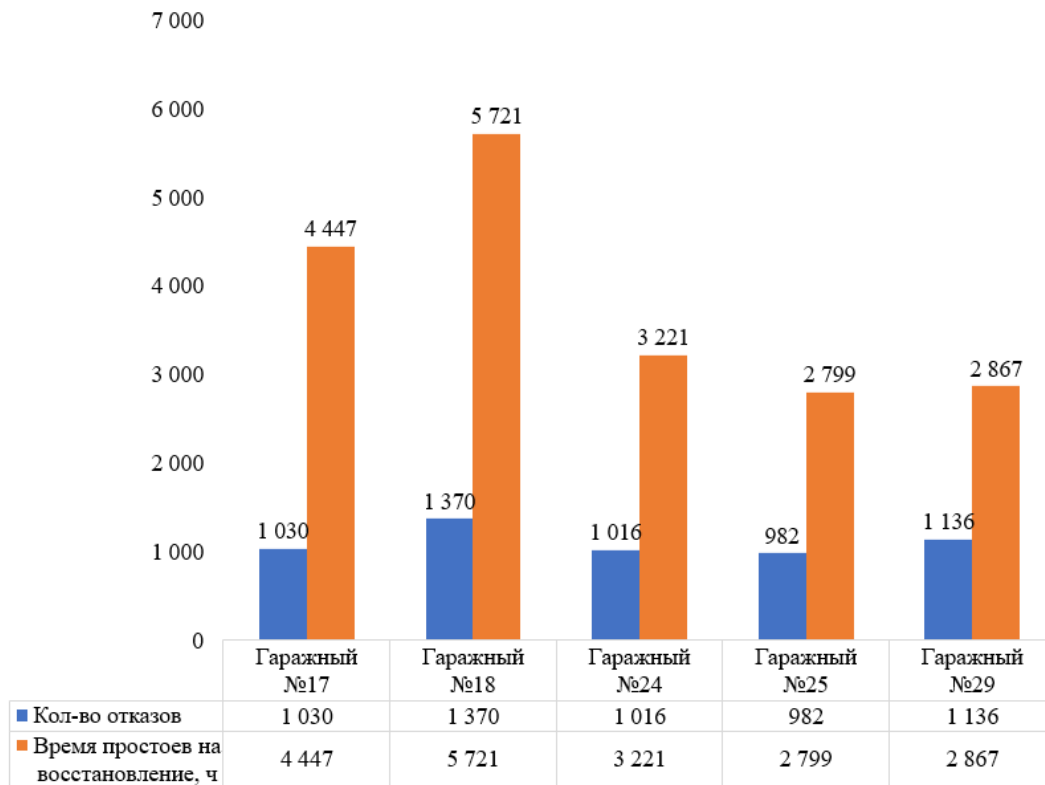
1.1. Нарботка на отказ по группе «механическое оборудование» оказалась самой низкой среди электрической системы и системы смазки и составила 15,8 тыс. м³. Наименьшая ресурсная наработка по данной группе наблюдается у экскаватора № 18 – 816 отказов, наработка на отказ 8,1 тыс. м³ при среднем времени восстановления 3,9 ч. Самый высокий ресурс наработки достигнут по экскаватору № 29, у которого наработка на отказ составила 27,3 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,3 ч. Наименее надежными компонентами механической системы являются:

- подгруппа «рабочий орган»: механизм открывания днища ковша, по которому имело место 964 простоя, время на восстановление узла составило 709 ч. Чаще всего данный узел отказывал у экскаваторов № 18 и № 29, по которым зафиксировано по 209 отказов;

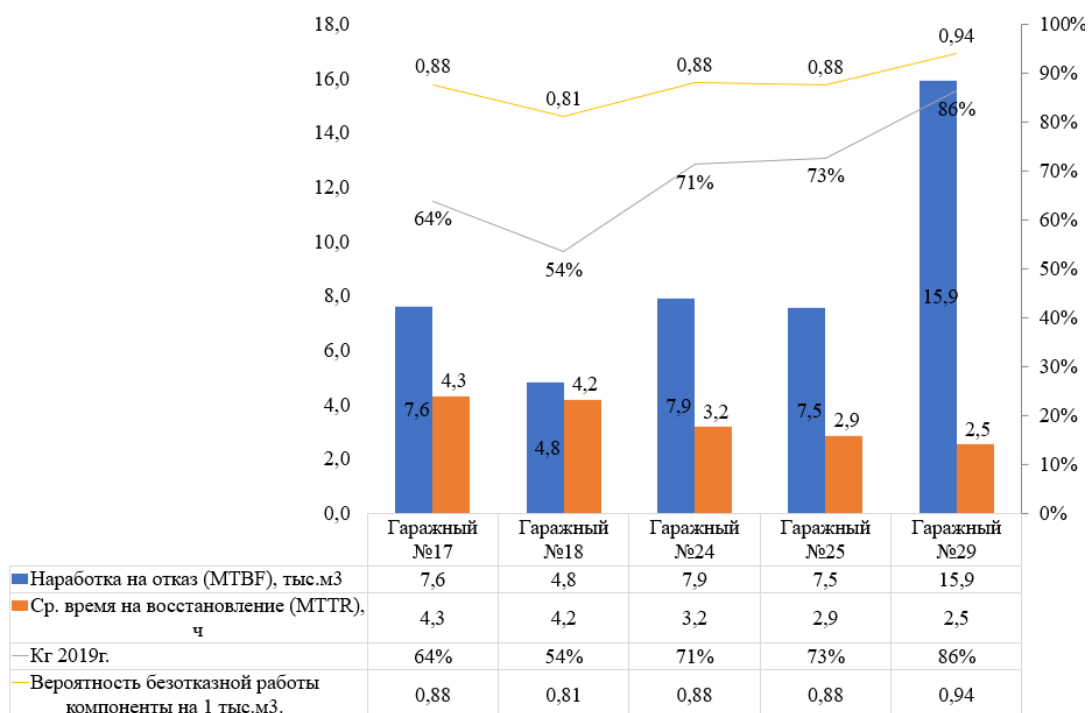
- подгруппа «механизм подъема»: по упругой муфте подъемной лебедки зафиксировано 444 отказа, время на восстановление работоспособности составило 332 ч. Чаще всего данный узел отказывал у экскаваторов № 18 и № 29, по которым зафиксировано 143 и 116 отказов.

1.2. Нарботка на отказ по группе «электрическое оборудование» оказалась выше, чем по группе «механическое оборудование» и составила 49,5 тыс. м³. Наименьшая ресурсная наработка по данной группе наблюдается у экскаватора № 18 – 218 отказов, наработка на отказ 30 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,4 ч. Самый высокий ресурс наработки достигнут по экскаватору № 29, у которого наработка на отказ составила 78,4 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,2 ч. Наибольшее количество отказов по группе зафиксировано в части простоев по наладке электрооборудования и наладке запуска – 643 отказа, время на восстановление работоспособности – 1 083 ч.

1.3. Нарботка на отказ по группе «система смазки» пяти экскаваторов в среднем оказалась самой высокой по отношению к электрической и механической системам и составила – 1 713 тыс. м³, среднее время восстановления – 1,3 ч. Перечень работ по восстановлению системы смазки на обследованных экскаваторах, в основном, сводился к возобновлению подачи смазочной рабочей жидкости в полость насоса, либо, при наличии автоматизированной центральной смазочной системы, возобновлению ее работоспособности.



а)



б)

Рис. 9. Структура unplanned downtime of excavators ЭКГ-10 due to reliability for 2017-2019 гг. (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 и показатели их оценки: MTBF, MTTR за 2017-2019 гг. (б)

2. Показатели эксплуатационной надежности канатных экскаваторов разреза «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» имеют сравнительно невысокий уровень. Коэффициенты готовности экскаваторов распределены следующим образом (Таб. 3):

Таблица 3. Коэффициенты готовности и вероятность безотказной работы парка ЭКГ-10 разреза «Колыванский» за период 2017–2019 гг.

Гаражный номер экскаватора	Год ввода	Наработка за 2017-2019гг, тыс м ³	Коэффициент готовности, %	Вероятность безотказной работы компоненты на 1 тыс. м ³
17	2008	7,9	64	0,88
18	2008	6,6	54	0,81
24	2011	8	71	0,88
25	2012	7,4	73	0,88
29	2014	18,1	86	0,94

Как видно из таблицы выше коэффициенты готовности экскаваторов не превышают среднеотраслевой уровень 85–89 %, а вероятность безотказной работы колеблется в диапазоне от 81–94 %. Также можно сделать вывод о том, что динамика потерь рабочего времени по причине аварийных простоев увеличивается совместно со сроком службы. Примером может служить сравнение коэффициентов готовности экскаваторов № 17–25 с экскаватором № 29.

3. Нестабильность конъюнктуры угольных рынков в мире, снижение потребления угля по экологическим и климатическим соображениям, как следствие, приводит к снижению цен на уголь и будет вынуждать производителей угля в ближайшей перспективе поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка горновыемочного оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. Поддержание и повышение уровня надежности горновыемочного оборудования на разрезе «Колыванский» может быть достигнуто за счет реализации следующих мероприятий:

- внедрения политики планирования и проведения ремонтов, обеспечивающей своевременную замену расходных и изнашивающихся элементов, для достижения заданных сроков эксплуатации экскаваторов;
- организации проведения ремонтно-восстановительных работ в ночную смену (сокращение сменного простоя);
- внедрения систем технологической диагностики в целях повышения эффективности техобслуживания при минимизации времени и расходов на техобслуживание и ремонты;
- внедрения системы управления рисками возникновения опасных событий при производстве работ, в т.ч. при отказах горновыемочного оборудования.

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. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р «Об утверждении программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года». [Decree of the government of the Russian Federation No. 1582-R of June 13, 2020 “On approval of the program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035”. Available from: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-13.06.2020-N-1582-r/> (In Russ.)].
2. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник – 2019 г. – URL: <https://www.gks.ru/>. [Federal state statistics service. Russian statistical Yearbook-2019. Available from: <https://www.gks.ru/> (In Russ.)].
3. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. – 2020. – № 3. – С. 54–69. [Tarazanov IG, Gubanov DA. Results of the Russian coal industry in January-December 2020. *Coal*. 2020;3:54-69. (In Russ.)]. doi: 10.18796/0041-5790-2020-3-54-69
4. Ivanov SL, Ivanova PV, Kuvshinkin SY. Promising model range career excavators operating time assessment in real operating conditions. *Journal of Mining Institute*. St. Petersburg Mining University; 2020;26;242:228. doi: 10.31897/pmi.2020.2.228
5. Шибанов Д.А., Иванова П.В., Шишлянников Д.И., и др. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства «ИЗ-КАРТЭКС» // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 9 (118). – С. 3–9. [Shibanov DA, Ivanova PV, Shishlyannikov DI, et al. Complex assessment of the factors defining an operating time of excavators EKG a new product line of “IZ-KARTEX”. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015;9(118):3-9. (In Russ.)].
6. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л. и др. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 7. – С. 51–58. [Ivanova PV, Asonov SA, Ivanov SL, et al. Analysis of structure and reliability of modern fleet of mine shovels. *Mining informational and analytical bulletin*. 2017;7:51-57. (In Russ.)]. doi: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-51-57
7. Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Мониторинг технического состояния экскаваторного парка на разрезах Кузбасса // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – Т № 11. – № 1. – С. 188–192. [Nikitin KV, Artamoshkin VN, Steblin IA. Monitoring of the technical condition of the excavators park in the Kuzbass sections. *Actual problems of Humanities and natural Sciences*. 2015;11(1):188-192. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-ekskavatornogo-parka-na-razrezah-kuzbassa>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
8. ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 22 с. [GOST 27.002-2015 Reliability in engineering (SSNT). Terms and definitions. No. 2017-03-01.

- Moscow: STANDARDINFORM. 2016. p.22. (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
9. Торелл В., Авелер В. Среднее время между отказами: описание, стандарты. Информационная статья № 72, APC, Legendary Reliability. [Torell V, Aveler V. Average time between failures: description, standards. Information article No 72, APC, Legendary Reliability (In Russ.)]. Доступно по: https://aboutdc.ru/docs/APC/4/WP78_RU.pdf. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 10. Москвичев В.В., Доронин С.В., Утехин С.А. и др. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов. Красноярск: ВЦ СО АН СССР, – 1989. – 33 с. [Moskvichev VV, Doronin SV, Utekhin SA, et al. *Analysis of failures of mechanical equipment and metal structures of excavators*. Krasnoyarsk: VTS SO AN USSR; 1989. (In Russ.)].
 11. Богданов А.П., Гайнуллин А.А., Ефимов А.А. и др. Дефекты металлоконструкции карьерных экскаваторов // Universum: технические науки. – 2015. – № 11 (22). [Bogdanov AP, Gainullin AA, Efimov AA, et al. Metal ware defects of mining excavators. *Universum: Technical Sciences*. 2015;11(22). (In Russ.)]. Доступно по: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/2775>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 12. Иванов С.Л. Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования // Записки Горного института. – 2016. – Т. 221. – С. 692–700. [Ivanov SL. Changes in the operating time of modern domestic EKG excavators from the conditions of their operation. *Notes of the Mining Institute*. 2016;221:692. (In Russ.)]. doi: 10.18454/PMI.2016.5.692
 13. Иваненко М.Б., Ананин В.Г., Слепченко В.А. Исследование напряженного состояния сочлененной стрелы карьерного экскаватора // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 3(56). [Ivanenko MB, Ananin VG, Slepchenko AV. Stress-strain state of compound boom of dragline excavator. *Bulletin of the Tomsk state University of architecture and civil engineering*. 2016;3(56):205-210. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhennogo-sostoyaniya-sochlenennoy-strely-kariernogo-ekskavatora>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 14. Рубцов С.К., Шлыков А.Г., Кочегаров Е.Н. и др. Опыт применения гидравлических и канатных экскаваторов на карьере Мурунтау // ГИАБ. – 2006. – № 3. [Rubtsov SK, Shlykov AG, Kochegarov EN, et al. Experience in using hydraulic and rope excavators at the Muruntau quarry. *Mining information and analytical Bulletin*. 2006;3:268-276. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-gidravlicheskih-i-kanatnyh-ekskavatorov-na-kariere-muruntau>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 15. Danicic D, Sedmak S, Ignjatovic D, et al. Bucket Wheel Excavator Damage by Fatigue Fracture – Case study. 20th European Conference on Fracture (ECF20). Elsevier Ltd., Procedia Materials Science, 2014;Vol.3:1723-1728. ISSN 2211-8128. doi: 10.1016/j.mspro.2014.06.278
 16. Djurdjevic D, Maneski T, Milosevic-Mitic V, et al. Failure investigation and reparation of a crack on the boom of the bucket wheel excavator ERS 1250 Gacko. *Engineering Failure Analysis*. 2018;(92):301-316. ISSN 1350-6307. doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.05.015
 17. Arsić D, Gnjatović N, Sedmak S, et al. Integrity assessment and determination of residual fatigue life of vital parts of bucket-wheel excavator operating under dynamic loads. *Engineering Failure Analysis*, 2019;(105):182-195. ISSN 1350-6307. doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.06.072

Сведения об авторах:**Ковалев Максим Александрович;**

ORCID: 0000-0003-1127-9230

E-mail: kovalevmalk@gmail.com

Москвичев Владимир Викторович, доктор технических наук;URL: <http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/persons/informaciya-o-sotrudnike?rdn=cn=Москвичев%20Владимир%20Викторович>

SCOPUS ID: 57192889718; 7003378676; ResearchGate: R-7334-2016

eLibrary SPIN: 9332-6468; ORCID: 0000-0001-7072-2250;

E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Information about the authors:**Maksim A. Kovalev;**

ORCID: 0000-0003-1127-9230;

E-mail: kovalevmalk@gmail.com

Vladimir V. Moskvichev, doctor of engineering;URL: <http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/persons/informaciya-o-sotrudnike?rdn=cn=Москвичев%20Владимир%20Викторович>

SCOPUS ID: 7003378676; ResearchGate: R-7334-2016

eLibrary SPIN: 9332-6468; ORCID: 0000-0001-7072-2250;

E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Цитировать как:

Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 25–44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44

To cite this article:

Moskvichev VV, Kovalev MA. Assessment of Operational Reliability Indicators of Pit Rope-Operated Excavators. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):25-44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 624.01.032

DOI 10.17816/transsyst20206445-60

© Г. А. Аверченко, А. Д. Павленко, Е. А. Зорина, Д. Н. Наборщикова
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Инженерно-строительный институт
(Санкт-Петербург, Россия)

СТРОИТЕЛЬСТВО ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ ГОТОВЫХ ЗВЕНЬЕВ В НАСЫПЬ

Аннотация. Объектом исследования данной статьи являются водопропускные трубы, а именно технология их строительства. Данная тема является актуальной в связи с развитием дорожного строительства, которое в свою очередь требует качественного водоотвода, осуществляемого в большинстве случаев водопропускными трубами.

Целью исследования является выбор и обоснование наиболее рационального способа строительства водопропускных труб на автомобильных и железных дорогах. В статье проанализированы преимущества и недостатки метода продавливания готовых звеньев в насыпь. Рассмотрены различные варианты используемых в этом методе труб, выбраны самые подходящие материал и форма. Выделены особенности работы вновь возведенных водопропускных труб в первый год их службы.

Результатом исследования является доказанное преимущество метода продавливания готовых звеньев в насыпь, а именно с помощью труб круглой формы из наиболее подходящего материала для выполнения данных работ-гофрированного железа.

Ключевые слова: водопропускная труба, гофрированное железо, продавливание звеньев, возведение труб, автомобильные дороги, железные дороги, водопропускные сооружения, искусственные сооружения, инженерные сооружения.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and construction of roads, subways

© G. A. Averchenko, A. D. Pavlenko, E. A. Zorina, D. N. Naborschikova
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(Civil Engineering institute, St. Petersburg, Russia)

CONSTRUCTION OF CULVERTS BY PUSHING THE FINISHED LINKS INTO THE EMBANKMENT

Annotation. The object of research in this article is culverts, namely the technology of their construction. This topic is relevant in connection with the development of road construction, which in turn requires high-quality drainage, carried out in most cases by culverts.

The purpose of the study is to select and justify the most rational method of construction of culverts on roads and Railways. The article analyzes the advantages and disadvantages of the method of pushing finished links into the embankment. Various variants of pipes used in this method are considered, and the most suitable material and shape are selected. The features of operation of newly constructed culverts in the first year of their service are highlighted.

The result of the study is a proven advantage of the method of pushing finished links into the embankment, namely, using round-shaped pipes made of the most suitable material for performing these works-corrugated iron.

Keywords: culvert, corrugated iron, link punching, pipe construction, highways, Railways, culverts, artificial structures, engineering structures.

ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке дороги имеют стремительные темпы развития. Это связано с большим объемом перевозок. Объем перевозок увеличивается, прежде всего с развитием производства, бизнеса, обеспечения занятости населения, укрепления межрегиональных связей в масштабах страны и еще многого другого. Водопропускные трубы, в свою очередь, являются одними из самых многочисленных искусственных сооружений на автомобильных и железных дорогах. Основной целью их возведения является безопасный отвод воды. Правильно организованный отвод воды от дороги обеспечивает ее безопасность и увеличивает срок службы. Именно поэтому вопрос строительства водопропускных труб является актуальным в наши дни [1, 2]. Также немаловажной задачей является нахождение наилучшего варианта производства работ и стандартизация методов возведения данных сооружений.

В своем исследовании основное внимание в первую очередь мы обратили на возведение труб на новом месте, так как при постройке на новом месте наилучшим образом можно применить индустриальные методы типизированного строительства.

Также были изучены важные особенности строительства труб на новом месте, которые помогли сделать значимые выводы. В частности, о том, что предпочтительнее применение закрытых способов (продавливание готовых звеньев, тоннельные способы). Этой теме посвящен первый раздел нашей работы.

В исследовании были проанализированы преимущества и недостатки постройки труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь. Изложению этих аспектов посвящен второй раздел этой работы.

В третьем разделе подвергнут обсуждению выбор рационального типа труб при таком способе производства работ. Такими наиболее удачными оказались трубы из гофрированного железа.

В заключительном разделе приводятся наметившиеся практические выводы и возникшие при исследовании вопросы, которые в нём не могли быть разрешены и которые требуют дальнейшей проработки.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРУБ НА НОВОМ МЕСТЕ

Как показывает опыт строительства, большой процент вновь построенных труб даёт, особенно в первые годы их службы, трещины, перекосы, неравномерную осадку отдельных звеньев и прочие дефекты, если и не выводящие их из строя, то во всяком случае свидетельствующие о тяжелых условиях их работы в этот период.

Основной общей причиной этих отрицательных явлений следует считать значительность длительно действующих изменений внешних сил давления земли, со всех сторон окружающей трубы, и связи с осадками как грунта насыпи, так и грунта под насыпью.

Находящийся над трубой грунт насыпи заметно меняет свои свойства, пока грунт не сложится, не уплотнится. До этих пор земляные массы находятся в движении, дают осадки, уменьшающиеся по мере уплотнения грунта. Грунт под трубой, как получивший новую нагрузку в виде веса трубы и насыпи, точно так же испытывает в большей или в меньшей степени изменение своего состояния и в связи с этим дает более или менее ощутимую осадку, пока грунт основания насыпи не уплотнится до такой степени, при которой дальнейшим изменением плотности основания и соответствующими, все уменьшающимися его осадками можно будет пренебречь. Для большинства грунтов в основном процесс уплотнения заканчивается в первые три-четыре года, по истечении которых дальнейшее уплотнение протекает очень медленно и осадки становятся настолько малыми, что они уже не могут вызвать никаких последствий для исправной службы трубы [3, 4].

Наибольшую напряженность работы трубы и наибольшую опасность появления трещин, перекосов звеньев, частичного или даже полного разрушения представляют периоды первых осенних дождей и первого весеннего таяния снегов.

Эта совершенно очевидная особенность службы трубы очень хорошо согласуется с опытом строительства труб. Первые три-четыре года критические в жизни трубы, и если она выживет эти годы, то в громадном большинстве случаев можно будет рассчитывать на долговечную исправную её службу. Более того, можно с полной уверенностью утверждать, что те дефекты: трещины, перекосы звеньев т.д., которые появились за первые три-четыре года, если только они не развились до аварийного характера, в дальнейшем нарастать не будут, и с наличием их в трубе можно будет примириться без всякого риска, а при принятии самых

несложных мер и без всякого заметного ущерба для срока исправной службы [5].

Долголетнее накопление фактов по авариям и крушениям труб, тщательное их изучение заставляют особое внимание уделять этой ярко характерной особенности работы труб под свежими насыпями.

Можно сказать, что наиболее рационально производить постройку труб длительного срока службы лишь после того, когда насыпь и грунт основания под ней перестанут давать заметные осадки, уплотнятся и земляные массы в основном достигнут состояния равновесия т. е. крайне желательно приступать к постройке постоянного типа труб по истечении трех-четырех лет со времени возведения насыпи, а если это невыполнимо, в крайних случаях можно считать допустимым начинать постройку труб постоянного типа, после того как насыпь простоит осень и следующую за ней весну [6].

Величина осадки насыпи может быть определена по следующей формуле:

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta S_i, \quad (1)$$

где ΔS_i - осадка i -го слоя грунта, определяемая по формуле:

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

где Δh_{ij} - толщина j -й полоски i -го геологического слоя на заданной вертикали поперечного сечения дороги; ε_{ij} - безразмерный коэффициент, характеризующий сжимаемость грунта в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя.

Коэффициент ε_{ij} вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{ij} = \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right), \quad (3)$$

где $e_{ij}^{\text{быт}}$ - значение пористости при бытовом давлении, осредненном в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя; $e_{ij}^{\text{полн}}$ - значение пористости при полном давлении, осредненном в пределах j -й плоскости i -го геологического слоя. Следовательно формула (2) примет вид:

$$\Delta S_i = \sum_{j=1}^l \Delta h_{ij} \left(\frac{e_{ij}^{\text{быт}} - e_{ij}^{\text{полн}}}{1 + e_{ij}^{\text{быт}}} \right). \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что осадка напрямую зависит от пористости грунта насыпи. Очевидно, что пористость слежавшегося грунта

минимальна, а следовательно, грунт будет давать малую осадку. Это значит, что способ выполнения работ по постройке труб должен быть предусмотрен таким, при котором наименьшим образом нарушалась бы структура слежавшегося грунта насыпи.

Выгоды такого порядка возведения труб очевидны. Выпадает наиболее острый период службы трубы, пока насыпь и основание под ней дают заметные осадки.

Конструкция труб может быть заметно облегчена и при её расчёте могут быть учтены лишь те изменения давления земли, которые обуславливаются периодическими изменениями климатических условий в разные времена года. Конструкция труб в этом случае будет приближаться к конструкции обделки тоннелей; устройство фундаментов и даже подготовка основания под трубы становятся излишними.

Особенно выгодным изложенный порядок возведения будет при строительстве труб во всех тех случаях, когда представится малейшая возможность к устройству новой трубы взамен разрушенной и временно или краткосрочно восстановленной на новом месте, где насыпь не потревожена. Во-первых, отпадают все работы по временному пропуску водотока, во-вторых, грунты насыпи и основания под ней на новом месте будут хорошо слежавшимися, уплотненными за время более или менее длительного существования насыпи.

Вследствие значительности этих выводов можно утверждать, что при строительстве труб надлежит возводить новые трубы так, чтобы наименьшим образом нарушалась структура грунтов насыпи и основания под ней.

Даже если постройка трубы на новом месте, взамен старой, получившей значительные разрушения, которые сделали невозможным ее дальнейшее использование в качестве сооружения, обеспечивающего требуемый уровень надежности, сопряжена со значительными работами по направлению водного потока по новому руслу, всё же предпочтительнее возводить трубу на новом месте.

Отказ от устройства трубы на новом месте в каждом отдельном случае должен быть значительно обоснован.

Рассмотрим те обстоятельства, при которых отказ от сооружения трубы на новом месте можно признать обоснованными, и прежде всего обстоятельства, связанные с новым направлением водотока.

Нельзя, конечно, устраивать трубу на новом месте, когда перевод потока на новое русло невозможен или крайне затруднителен, как, например, в случае глубокой ложины, узкого оврага с крутыми берегами, ущелья и т. д.

Не следует устраивать трубу на новом месте и тогда, когда новое русло потока резко ухудшает условия пропуска вод, создает неустраиваемую

опасность подмыва насыпи или фильтрации воды через насыпь, дает недопустимое поднятие горизонта подпорных вод (выше отметки 1,0 м относительно бровки насыпи) и т. п.

Вполне обоснованным можно считать отказ от возведения трубы на новом месте и в случае очень значительной стоимости перевода потока на новое русло.

Перейдем к обосновывающим отказ от сооружения трубы обстоятельствам, связанным с состоянием разрушенной трубы.

Вряд ли целесообразна постройка новой трубы, если труба разрушена лишь частично, и ее восстановление на старом месте не требует значительных расходов и даёт полноценное сооружение.

Сомнительным может оказаться возведение новой трубы при полной сохранности фундамента старой трубы и полной ненарушенной надежности основания под ним, если при восстановлении можно их использовать без больших затрат и получить надёжное сооружение.

Наконец, от сооружения трубы на новом месте может оказаться целесообразным и выгодным отказаться при относительно небольшом возвышении бровки насыпи над верхом трубы, равном или несколько превышающем отверстие трубы, особенно при значительности последнего.

В этом случае нарушение структуры грунтов небольшой по высоте насыпи существенного значения не имеет из-за невысокой насыпи, даже если она свеженаасыпанная [7].

Несмотря на перечисленные случаи, оправдывающие отказ от возведения труб на новом месте, мы подчеркиваем, что основным видом строительства, способным дать сооружение значительной надежности является сооружение труб на новом месте.

Стоит отметить еще одно существенное преимущество сооружения труб на новом месте. Только при устройстве труб на новом месте возможно довести работы по их сооружению до таких высоких степеней стандартизации, которые удовлетворяли бы требованиям современного их существования.

Любые наиболее совершенные способы производства работ по восстановлению труб на старом месте из-за чрезвычайного многообразия существовавших ранее труб и разнохарактерности разрушения неизбежно получают резко выраженный индивидуальный характер и потому их стандартизация никак не может быть доведена до такой степени, как при постройке труб на новом месте.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ СПОСОБОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ ЗВЕНЬЕВ ТРУБЫ В НАСЫПЬ

В случае возведения трубы на новом месте в насыпи, не имеющей

механических повреждений, основным требованием к производству работ должно быть сведение к минимуму нарушения структуры грунтов слежавшейся насыпи, так как только в этом случае можно будет в полной мере реализовать те существенные выгоды, о которых шла речь в предыдущем разделе.

Наиболее практичным, отвечающим поставленным требованиям, способом производства работ является введение готовых звеньев трубы в насыпь под давлением гидравлических домкратов с извлечением грунта из продавливаемой трубы. При данном способе производства работ грунт тела слежавшейся насыпи сохраняет свою уплотненную структуру, за исключением лишь небольшого слоя, который непосредственно обволакивает перемещающиеся звенья. Это те частицы грунта, которые утягиваются вместе со звеньями трубы при их движении, а также частицы, расположенные между движущимися вместе с трубой и сохраняющими свое положение в теле насыпи, которые образуют как бы слой смазки, облегчающий проникновение в насыпь [8].

Общая мощность этих слоев невелика и составляет примерно 10–20 см. Общая масса грунта как насыпи, так и основания остаётся в покое, сохраняя при этом создавшееся в ней установившееся равновесие, и структура грунта этой массы ничем не нарушается, так как деформация вводимых готовых звеньев ничтожно мала.

Слои же нарушенной структуры, окружающие введённые звенья, настолько невелики, что никакого заметного влияния на напряжённое состояние тела насыпи они оказать не могут, даже при действии не только постоянных сил, но проходящих по насыпи транспортных средств. Данный факт является ещё одним существенным преимуществом способа продавливания готовых звеньев, так как именно этот способ представляет наименьшее неудобство для непрерывной эксплуатации дороги. Он не только даёт возможность производить работы без какого-либо перерыва движения, но и не снижает при этом его безопасности. При умеренных высотах насыпи этот способ не требует ограничения скорости. Только при толщине насыпи над трубой порядка полутора диаметра трубы и меньше придётся принимать некоторые меры предосторожности и вводить какие-либо значительные ограничения [9].

Однако стоит отметить, что этим способом продавливаются лишь круглые трубы с внутренним диаметром не свыше 2,00–2,13 м. Главной причиной этого является громоздкость звеньев большого диаметра, а именно в том, что для них не только требуется гораздо большая мощность домкратов, но и возникает трудность обеспечения достаточной равномерности распределения их давления по контуру звена. Расход воды, который могут пропустить круглые трубы диаметром до 2,00–2,13 м, невелик, поэтому для значительных водотоков приходится прибегать к

продавливанию рядом двух, трёх и более труб из звеньев предельного диаметра [10]. Водопрopusкная способность таких многоочковых труб заметно снижается из-за дополнительного сопротивления движению воды промежутков между очками.

Укрепление ложа водотока перед входом в трубу должно быть усилено из-за вихрей, образующихся при разделении водотока на струи, протекающие по отдельным очкам.

Данный способ производства работ дает возможность заблаговременной массовой заготовки звеньев, причем в условиях, наиболее приближающихся к заводским. То есть, возможно выделить ограниченное число наиболее ходовых стандартных типов звеньев, чем еще в большей мере облегчить и удешевить массовую их заготовку. Это является значимым преимуществом данного способа, позволяющее развернуть работы по продавливанию труб в массовом масштабе [11].

Для самого вдавливания потребуется своевременная подготовка в достаточном количестве гидравлических домкратов надлежащей мощности и приспособленных к специфике применения их для вдавливания звеньев в насыпь.

В настоящее время Красноградским заводом МПС налажен выпуск комплекса для сооружения железобетонных водопрopusкных труб методом продавливания через насыпь. Проектные разработки комплекса выполнены институтом Ленгипротрансмост. С помощью такого комплекса можно осуществить проходку трубы в грунтах до IV категории крепости с небольшими (до 300 мм) каменистыми включениями. В состав комплекса входят гидрофицированные элементы: щит, основная и пять промежуточных силовых (домкратных) станций. Разработка забоя и уборка грунта осуществляются механизировано с помощью при-водной лопаты. Средний темп продвижения трубы в насыпи составляет 2 м в смену. С помощью этого комплекса можно сооружать трубы с очком диаметром 2 м в насыпях высотой до 12 м [12].

Развития данного направления стандартизации возведения труб должно осуществляться со следующими оговорками. В целях многократного использования оборудование должно быть сборно-разборным. При этом количество типовых комплектов необходимого оборудования будет небольшим, так как существует ограничение по числу стандартных размеров звеньев. Каждый комплект будет пригоден при любой высоте насыпи и при любой плотности грунта. Подготовка технического персонала и команд к выполнению работ потребует благодаря простоте технологического процесса очень короткого срока обучения и тренировки, при этом скорость проходки будет составлять не менее 0,5–0,6 м/ч.

При соблюдении этих подготовительных операций вдавливание

звеньев может иметь высокую степень стандартизации и дать значительные показатели производительности труда. Это является еще одним, очень ярким преимуществом рассматриваемого способа производства работ, который дает высокие темпы работ и сводит к минимуму затраты рабочей силы.

Наиболее эффективен метод продавливания в устойчивых связных грунтах – глинах, суглинках, а также в насыпях, сложенных уплотненными несвязными грунтами естественной влажности. В неустойчивых грунтах часто требуется их предварительное закрепление, а в водонасыщенных песках и гравелистых отложениях необходимо выполнить предварительное понижение уровня грунтовых вод.

Очевидно, что сложность работ по продавливанию возрастает с увеличением длины и поперечного сечения. Однако постоянное совершенствование технологии работ по продавливанию и возросшая мощность гидравлического оборудования позволяют в настоящее время сооружать все более сложные конструкции.

Кроме того, в отличие от других способов производства работ, продавливание в насыпь не оставляет пазухи и пустоты вне звена круглой трубы, которые впоследствии будут заполняться грунтом с нарушенной структурой. При этом продавливание звеньев происходит целиком, то есть труба требует лишь членение на звенья, а не на более мелкие продольные элементы.

В заключение рассмотрения выгод вдавливания готовых звеньев в насыпь еще раз подчеркнем, что в любой стадии производства работ сооружение является полноценным, гарантирующим максимальную безопасность движения при полной его непрерывности. Отпадает необходимость приостановления работ железнодорожных путей или перекрытия больших магистралей и мелких дорог, дорогостоящее дорожное покрытие не нарушается. Также исключается нанесение вреда экологии и ландшафту.

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ТРУБ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ ГОТОВЫХ ЗВЕНЬЕВ В НАСЫПЬ

Наиболее целесообразной формой поперечного сечения продавливаемых в насыпь готовых звеньев труб будет, несомненно, круглое поперечное сечение. Во-первых, оно наилучшим образом отвечает всестороннему на трубу давлению грунта насыпи и основания под ней. Во-вторых, вращение звеньев, которое может возникнуть при продавливании особенно длинных труб, не будет иметь никаких неприятных последствий только при круглой трубе, потому что она симметрична относительно продольной оси. Чаще всего для продавливания используются трубы из

чугуна, стали, железобетона и в наибольшем числе случаев из гофрированного железа.

Чугунные трубы имеют вполне удовлетворительную устойчивость против ржавления, однако требуют большого расхода металла из-за значительной толщины, которую приходится придавать их стенкам. Помимо этого, из-за хрупкости чугуна они дают наибольший процент повреждений при транспортировке к месту работ, особенно при крупных их диаметрах свыше 1,0 м. Эти обстоятельства не позволяют остановиться на выборе данного вида труб для массового строительства водопропускных труб.

Стальные трубы по условиям прочности могут быть взяты с более тонкими стенками, но из-за большой подверженности коррозии требуют такой толщины стенок, которая мало отличается от толщины стенок чугунных труб. Между тем стоимость 1 т стальных в несколько раз превышает стоимость 1 т чугунных труб. Поэтому, несмотря на то что стальные трубы легче других видов продавливаются в насыпь, они все равно непригодны для данной работы.

Железобетонные трубы требуют в несколько раз меньший расход металла на арматуру, которая при этом не имеет последствий ржавления. Долговечность этих труб во много раз выше стальных и, по меньшей мере, вдвое превышают долговечность труб из гофрированного железа и чугунных.

Для продавливаемых готовых звеньев обязательно делать арматуру двойной и располагать её строго симметрично относительно продольной оси трубы [13]. Условия работы трубы в слежавшейся насыпи, структура грунтов которой не нарушена при продавливании трубы, дают возможность уменьшить толщину стенок по сравнению со звеньями, укладываемыми до возведения насыпи и затем обсыпаемыми грунтом. Однако это уменьшение будет небольшим и мало отразится на весе звеньев.

Существенным недостатком готовых железобетонных звеньев является их значительный собственный вес, из-за которого максимальная длина звеньев составляет 1,0 м. При массовом строительстве труб работы по доставке готовых звеньев, их погрузке и выгрузке, из-за их большого веса и громоздкости очень трудоемкие. При перевозке звеньев необходимы грузовики большой грузоподъемности. Кроме того, при большом весе звеньев резко возрастает вероятность их повреждения при транспортных работах.

Заметно усложняются работы по установке и примыканию звеньев к уже продавленным. Из-за короткой длины звеньев потребуются очень часто делать перестановку рамы, передающей давление от гидравлических домкратов, что заметно снизит темпы проходки насыпи. Из-за большого

веса железобетонных звеньев приходится прибегать к особым мерам для того, чтобы выдержать надлежащее направление продавливания: звено из-за своей тяжести стремится уйти вниз, а продавливание, выполняемое всегда с низовой стороны, должно идти соответственным уклоном вверх. Это усложняет работы по продавливанию и понижает темпы проходки.

Наконец, сопротивление железобетонных труб продавливанию заметно больше, чем сопротивление металлических, чугунных, стальных и труб из гофрированного железа. Это обусловливается значительно большим сопротивлением трения по бетонной боковой поверхности трубы и значительным возрастанием сопротивления торца переднего звена из-за в десятки раз большей толщины стенок. Из-за большего сопротивления продавливанию для железобетонных труб приходится применять большую мощность гидравлических домкратов, что понижает общие темпы проходки примерно вдвое.

Значительный собственный вес железобетонных звеньев, затрудняющий их транспортировку, погрузку, выгрузку и установку; короткая длина звеньев и необходимость принимать меры по надлежащему направлению звеньев, усложняющие процесс продавливания; значительно большее, чем для металлических труб, сопротивление продавливанию и вдвое меньший успех работ по сравнению с трубами из гофрированного железа, несмотря на меньший расход металла и несомненно большую долговечность железобетонных труб, делают сомнительным рациональность широкого их применения при продавливании в насыпь на работах по строительству водопропускных труб.

Трубы из гофрированного железа для повышения их устойчивости против коррозии в тяжёлых условиях окружения грунтами насыпи изготавливаются из химически почти чистого железа, например, марки «ARMCO». Такой материал для изготовления значительно повышают антикоррозийность и для большинства грунтов дают вполне удовлетворительную длительность срока службы труб. Механические свойства железа также получаются достаточно высокими. Всё это позволяет принимать толщину гофрированного железа очень небольшой, а именно для труб с внутренним диаметром 0,76–2,13 м всего лишь в 2,0–3,6 мм.

Гофрированное железо для труб выпускается заводами в виде полуцилиндрических секций различной длины, но обычно длину секции назначают не более 10 м, в зависимости от размеров трубы и возможностей транспортных средств. Благодаря этому не возникает никаких сложностей при транспортировке данного материала на любые доступные расстояния. Аналогично трудности не возникнут и при погрузке и выгрузке секций даже в полевых условиях [14, 15].

Сборка из секций продавливаемых в насыпь звеньев легко выполняема на месте, в поле. Из-за значительного давления, требующегося при продавливании, в данном случае допустимо только наиболее надежное соединение – на заклепках. Так как толщина гофрированного железа незначительна (от 2 до 4 мм), то достаточно будет использовать заклепки мелких диаметров, что позволяет все работы по клёпке производить вхолостую и выполнять клёпку вручную. Это не представит никаких затруднений в полевых условиях. Работу по сборке и выклепке звеньев вполне возможно производить параллельно продавливанию звеньев, то есть пока продавливается одно звено, другое звено выклепывается с некоторым даже запасом во времени. Именно поэтому можно сказать, что механизация выклепки звеньев является излишней, и притом может даже усложнить работы из-за усложнения оборудования. Кроме того, выполнение сборки и выклепки звеньев оправдывается тем, что для соединения наращиваемого звена с продавленным также потребуется схожее соединение с заклепками [16].

Сам процесс продавливания гофрированных железных труб легче по сравнению с железобетонными благодаря заметно меньшему сопротивлению торца из-за меньшей толщины стенок и благодаря меньшему сопротивлению трения по боковой поверхности. Большая в 3,5–5 раз длина звеньев во столько же раз сокращает число перестановок рам, передающих давление от домкратов. Всё это в итоге даёт скорость продавливания гофрированных железных труб не менее 0,50–0,60 м в час, примерно вдвое превышающую скорость проходки при железобетонных трубах.

Наконец, при железных гофрированных трубах полностью отпадает необходимость организации строительных баз для предварительной заготовки железобетонных звеньев. Это является неоспоримым преимуществом при расположении множества объектов по длине железной дороги.

При использовании гофрированных труб возникает существенный перерасход металла, однако этот недостаток восполняется не только преимуществами, но и экономией на бетонной кладке, кубатура которой в железобетонных трубах, несмотря на умеренную толщину их стенок, все же ощутима.

Подводя итоги, можно утверждать, что при массовом строительстве водопроводных труб на новых местах путём продавливания их в насыпь наиболее рациональными являются круглые трубы из гофрированного железа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водопропускные трубы являются самыми распространенными искусственными сооружениям на автомобильных и железных дорогах. В статье разработаны вопросы именно по этому типу инженерных сооружений. В результате выполненной работы по строительству водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь можно сделать следующие практические выводы:

1. Сооружение водопропускных труб на новом месте в слежавшемся грунте насыпи является более надежной конструкцией, позволяющей избежать таких проблем, как деформация и повреждение трубы из-за изменения внешних сил давления земли, потому что условия работы трубы не будут изменяться с течением времени из-за последствий осадки грунта.

2. Неоспоримые преимущества строительства водопропускных труб именно методом продавливания готовых звеньев в насыпь дают возможность обеспечить массовость, высокую производительность, мобильность, относительную простоту и дешевизну непосредственно самого строительства, не прерывая при этом, в большинстве случаев, движения автомобилей и поездов, что при большой значимости дороги может обойти проблему социальных и финансовых потерь во время приостановки движения.

3. Для данного метода самым рациональным выбором являются круглые трубы из гофрированного железа. Благодаря тонкости стенок, материал позволяет обеспечить относительную легкость трубы, простоту транспортировки, сбора звеньев и крепления звеньев друг к другу, а цилиндрическая форма поможет избежать деформацию трубы во время процесса вдавливания.

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. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егосин А.М., Змеев А.Т. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации // Путевой навигатор. – 2019. – №38(64). – С. 24-31. [Ermoshin NA, Lazarev YuG, Egoshin AM, Zmeev AT. Planirovanie razvitiya dorozhnoi seti s uchetom printsipov mnogokriterial'noi optimizatsii. Putevoi navigator. 2019;(38(64)):24-31. (In Russ).]
2. Аверченко Г.А., Огурцов Г.Л. Перспективы использования композитного

- материала в мостостроении // IV Международная научно-практическая конференция: «Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития»; Апрель 3, 2019; Петрозаводск. [Averchenko GA, Ogurtsov GL. Composite material in bridge construction the way to perfection. (Conference proceedigs) IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya: «Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendentsii razvitiya»; 2019 apr 3; Petrozavodsk (In Russ).] Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41475166>. Ссылка активна на 02.10.2020.
3. Копыленко В.А. Малые водопропускные сооружения на дорогах России: учеб. пособие. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 444 с. [Kopylenko VA. Small culverts on the roads of Russia: schoolbook. Moscow: Training and methodological center for education in railway transport, 2013. 444 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21195264>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 4. Яковлев Ю.М., Горячев М.Г. Строительство водопропускных труб на автомобильных дорогах: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2011. – 160 с. [Yakovlev YuM, Goryachev MG. Construction of culverts on highways: schoolbook. Moscow: MADI, 2011. 160 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19645534>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 5. Базавлук В.А., Кузнецов Е.Ю. Уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог: теоретические основы и технологии: учебное пособие. – Томск: Печ мануфактура, 2006. – 99 с. [Bazavluk VA, Kuznecov EYu. Compaction of roadbed soils: theoretical foundations and technologies: schoolbook. Tomsk: Pech. Manufaktura; 2006. 99 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003013691>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 6. Лисов В.М. Водопропускные трубы под. – Воронеж.: ВГАСА, 1996. – 123 с. [Lisov VM. Vodopropusknye truby pod nasypuyami. Voronezh: VGASA; 1996. 123 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001749438>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 7. Артамонов Е.А., Волченков Г.Я., Клейнер Р.С., и др. Водопропускные трубы под насыпями / под ред. О.А. Янковского. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с. [Artamonov EA, Volchenkov GYa, Klejner RS, et al. Vodopropusknye truby pod nasypuyami. Yankovskij OA, editor. Moscow: Transport; 1982. 232 p. (In Russ)]. Доступно по: <https://elima.ru/books/?id=3773>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 8. Лукин Н.П., Лукин А.Н., Шуко С.А. Автомобильные дороги. Трубы под насыпями автомобильных дорог // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ, 1988. – № 6. [Lukin NP, Lukin AN, Shchuko SA. Avtomobil'nye dorogi. Truby pod nasypuyami avtomobil'nyh dorog. *Obzornaya informaciya*. Moscow: CBNTI; 1988. Vol.6. (In Russ.)]. Доступно по: <https://files.stroyinf.ru/Data1/45/45930/index.htm>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 9. Желтышева А.С., Юшков Б.С. К вопросу устойчивости водопропускных труб на автомобильных дорогах // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – №3. – С. 51-59. [Zheltysheva AS, Iushkov BS. To the question of stability of water throughput pipes on highways. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2015;(3):51-59. (In Russ).]
 10. Подвальный Р.Е., Потапов А.С., Янковский О.А. Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб. М.: Транспорт, 1978. – 78 с. [Podval'nyj RE, Potapov AS, Yankovskij OA. Tekhnologiya stroitel'stva metallicheskih gofrirovannyh vodopropusknyh trub. Moscow: Transport, 1978.

- 78 p. (In Russ.)). Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007791101>. Ссылка активна на 02.10.2020.
11. 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. Sovremennyye metody sovershenstvovaniya konstruksii deformatsionnykh shvov avtodorozhnykh mostov. *Putevoi navigator*. 2020;(43(69)):3. (In Russ.)]
 12. Варламова Т.В., Шаклина А.Д. К вопросу обеспечения надежности железобетонных водопропускных труб // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – №5(19). – С. 39-43. [Varlamova TV, Shaklina AD. To the question of the reliability of reinforced concrete culverts. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2016;(5(19)):39-43. (In Russ.)]
 13. Филиппов Д.А., Уколов С.А. К вопросу о выборе эффективных технологий скоростного восстановления автомобильных дорог // Наука и военная безопасность. – 2017. – №1 (8). – С. 106-110. [Filippov DA, Ukolov SA. Choice of enabling technologies for the auto-road rapid rebuilding. *Nauka i voennaya bezopasnost'*. 2017;(1(8)):106-110. (In Russ.)]
 14. Черных В.К., Козырева Л.В. Использование гофрированного металлического листа при строительстве водопропускных труб и малых мостов // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2013. – Т. 2. – С. 478-481. [Chernykh VK, Kozyreva LV. The use of corrugated sheeting metal in the construction of culverts. *New ideas of the new century: proceedings of the international scientific conference FAD TOGU*. 2013;2;478-481. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19138401>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 15. ОДМ 218.2.001-2009. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон) [ODM 218.2.001-2009. Rekomendatsii po proektirovaniyu i stroitel'stvu vodopropusknykh sooruzhenii iz metallicheskiykh gofirovannykh struktur na avtomobil'nykh dorogakh obshchego pol'zovaniya s uchetom regional'nykh uslovii (dorozhno-klimaticheskikh zon) (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200074825>. Ссылка активна на 02.10.2020.
 16. ГОСТ 32871-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Трубы дорожные водопропускные. Технические требования (Переиздание) [GOST 32871-2014 Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Truby dorozhnye vodopropusknye. Tekhnicheskie trebovaniya (Pereizdanie) (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200119826>. Ссылка активна на 02.10.2020.

Сведения об авторах:

Аверченко Глеб Александрович, ассистент;

телефон: +7(965)0620218;

eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;

E-mail: averchenko_ga@spbstu.ru

Павленко Анна Дмитриевна, ассистент;
телефон: 7(981)98752217(981)9875221; адрес: 195251, Санкт-Петербург, ул.
Политехническая, д.29, кор.10;
eLibrary SPIN: 7799-7772; ORCID: 0000-0003-3629-5376;
E-mail: anna.pavlenko.1996@yandex.ru

Зорина Евгения Алексеевна, студент;
телефон: +7(912)1134254;
eLibrary SPIN: 4674-7227; ORCID: 0000-0002-9165-7168;
E-mail: zorina.ea@edu.spbstu.ru

Наборщикова Дарья Николаевна, студент;
телефон: +7(977)0489386;
eLibrary SPIN: 3247-3977; ORCID: 0000-0001-8812-7409;
E-mail: nabortshikova.dn@edu.spbstu.ru

Information about the authors:

Gleb A. Averchenko, assistant;
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;
E-mail: averchenko_ga@spbstu.ru

Anna D. Pavlenko, assistant;
eLibrary SPIN: 7799-7772; ORCID: 0000-0003-3629-5376;
E-mail: anna.pavlenko.1996@yandex.ru

Evgenia A. Zorina, student;
eLibrary SPIN: 4674-7227; ORCID: 0000-0002-9165-7168;
E-mail: zorina.ea@edu.spbstu.ru

Darya N. Naborschikova, student;
eLibrary SPIN: 3247-3977; ORCID: 0000-0001-8812-7409;
E-mail: nabortshikova.dn@edu.spbstu.ru

Цитировать:

Аверченко Г.А., Павленко А.Д., Зорина Е.А., Наборщикова Д.Н. Строительство водопропускных труб методом продавливания готовых звеньев в насыпь // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 45–60. doi: 10.17816/transsyst20206445-60

To cite this article:

Averchenko GA, Pavlenko AD, Zorina EA, Naborschikova ND. Construction of Culverts by Pushing the Finished Links into the Embankment. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):45-60. doi: 10.17816/transsyst20206445-60

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 656.225

DOI 10.17816/transsyst20206461-72

© **В. А. Тодуа, Д. С. Бельницкий**

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)

(Москва, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В ГЕРМАНИИ И ИТАЛИИ

Аннотация. В работе рассматриваются особенности построения общеевропейской транспортно-логистической системы на примере формирования логистических центров в Германии и Италии. Описываются основные цели создания и функционирования логистических центров, особенности географического расположения, роль государства и частного сектора на этапах планирования, реализации и эксплуатации, источники финансирования, рассматриваются вопросы правового регулирования деятельности логистических центров. Авторы статьи предлагают одно из возможных направлений развития логистических центров, которому Россия может придерживаться, опираясь на опыт европейских стран с положительными результатами формирования сети логистических центров.

Ключевые слова: логистическая инфраструктура, логистические центры, концепции создания логистических центров, транспорт, пути сообщения, сеть логистических центров.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© **V. A. Todua, D. S. Belnitsky**

Russian university of transport (MIIT)

(Moscow, Russia)

FEATURES OF THE FORMATION OF LOGISTICS CENTERS IN GERMANY AND ITALY

Annotation. The paper discusses the features of building a pan-European transport and logistics system on the example of the formation of logistics centers in Germany and Italy. It describes the main goals of creating and operating logistics centers, features of geographical location, the role of the state and the private sector at the stages of planning, implementation and operation, sources of funding, and discusses issues of legal regulation of logistics centers. The authors of the article suggest one of the possible directions for the development of logistics centers, which Russia can adhere to, based on the experience of European countries with positive results in the formation of a network of logistics centers.

Keywords: logistics infrastructure, logistics centers, concepts for creating logistics centers, transport, communication routes, network of logistics centers.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования обусловлена устойчивым ростом объемов и уровня качества оказываемого логистического сервиса, при котором возникает острая необходимость формирования объектов инфраструктуры транспортно-логистической системы, учитывающих последние достижения науки и техники, центральным элементом которой выступает логистический центр, деятельность которого направлена на снижение транспортных издержек, времени на транспортировку грузов и как результат рост конкурентоспособности транспортной системы страны.

Целью исследования является анализ особенностей формирования логистических центров, территориально располагаемых в Германии и Италии. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Рассмотрение особенностей формирования сети логистических центров на территории Европейского Союза.
2. Анализ особенностей формирования логистических центров в Германии.
3. Анализ особенностей формирования логистических центров в Италии.
4. Сравнительный анализ характеристик крупнейших логистических центров в Германии и Италии.

Объектом исследования выступают немецкие и итальянские логистические центры. Предметом исследования являются процессы создания и функционирования логистических центров в Германии и Италии. Методы исследования основываются на использовании системного анализа, сравнения, классификации. Практическая значимость данной статьи заключается в возможности на основании опыта европейских стран сформировать на территории нашей страны развитую транспортно-логистическую инфраструктуру, которая в дальнейшем позволит создать интегрированную сеть логистических центров.

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ЦЕНТРЫ В ЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ

На европейском пространстве сформирована развитая сеть логистических центров, располагаемая на территории 10 европейских государств, в которых функционируют около 2500 логистических и транспортных компаний [1]. В основе общеевропейской системе товародвижения лежит взаимодействие нескольких опорных логистических центров и региональных транспортно-распределительных центров, обеспечивающее непрерывность и ускорение движения материальных потоков. Взаимодействие между крупными логистическими

центрами, сформированных на базе морских портов, осуществляется посредством

30 железнодорожных коридоров. Данное взаимодействие предоставляет возможность реализовывать грузовые перевозки по территории стран Европы от 24 до 48 часов за счет консолидации грузовых отправок для транспортных коридоров.

Опыт стран Европейского Союза показал, что использование логистических центров способствует снижению затрат, связанных с погрузочно-разгрузочными работами и хранением материалов и готовой продукции на 15–30 %, с транспортными затратами на 7–20 %, а общие логистические расходы на 12–35 %. Кроме того, деятельность логистических центров помимо снижения затрат на транспортировку продукции, приносит и доходы в государственный бюджет: например, в Германии данный показатель составляет 25 % [2].

Европейская ассоциация («Europlatforms») под логистическим центром понимает деловой район, в котором все многообразие операций по обработке, транспортировке и логистическому обслуживанию грузопотоков, осуществляется различными операторами, которые действуют как на национальном, так и на международном уровнях [3].

В странах Европейского Союза реализуются ряд концепций логистических центров, которые отличаются названием, особенностями построения и принципами функционирования. В данной статье будут рассмотрены особенности создания логистических центров в Германии и Италии: итальянская концепция («Interporto») связана с либерализацией услуг в морских портах и с ростом конкуренции между ними для увеличения экспорта и транзита через итальянские морские порты, а немецкое решение («Güterverkehrszentrum») связано с обеспечением взаимодействия различных видов транспорта [4].

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В ГЕРМАНИИ

Первый европейский логистический центр был возведен в Баварии в городе Ingolstadt. Расположение данного центра было выбрано таким образом, чтобы свести к минимуму затраты, связанные с поставками товаров. Центр имеет свои филиалы и базы вблизи мест расположения потребителей, на его территории располагаются железнодорожные и автомобильные подъездные пути.

Германия благодаря сформированной сети логистических центров, лидер среди стран Западной Европы по развитию объектов транспортно-логистической инфраструктуры.

Основная цель немецкой концепции организации логистических центров – это развитие дорог муниципального значения, интермодального транспорта, достижение синергетических эффектов рынков всего комплекса (Рис. 1).



Рис. 1. Немецкая концепция логистических центров

Логистические центры на территории Германии развивались на базе железнодорожных развязок и линий, наибольшее число центров предназначено на одновременное использование автомобильного и железнодорожного транспорта.

Выделим основные особенности формирования немецких логистических центров:

– сильная поддержка со стороны государства, реализуемая через федеральные законы и законы федеральных земель. Немецкая модель предполагает активное участие государственных органов, как на этапе планирования и проектирования, так и на этапе строительства проектов логистических центров;

– финансовую поддержку на реализацию проектов направляет федеральный бюджет, бюджеты земель и местное самоуправление, а также Европейский союз в виде дотаций, инвесторы, транспортные компании, кредиты банков. Федеральный бюджет реализует инвестирование через немецкую компанию Deutsche Bahn AG, а также осуществляется целевые дотации и кредитование. Финансовая поддержка Федерального министерства транспорта и федеральных земель реализуется через законы (GA – закон об улучшении экономической структуры регионов, предлагающий займы, гранты; GVFG – закон о муниципальном финансировании транспорта) и инструменты, направленные на стимулирование интермодальности (BSchwAG – закон о развитии железных дорог, Förderrichtlinie KV – закон о развитии перевалочных средств комбинированных перевозок) [7];

– управление логистических центров, сформированных при государственном участии, реализуется через наблюдательные органы, в состав которых входят компании-участники проекта: союзы и ассоциации, инвесторы и/или инвестиционные консорциумы, муниципалитет;

– главные логистические центры на территории Германии располагаются в железнодорожно-автомобильном транспортном узле в городе Бремене, центре в Эрфурте и в Касселе, а также в морских портах Росток и Гамбург, Липпк, Нюринбург, Дрезден, Тревир. Крупнейшими мультимодальными логистическими центрами на территории Германии являются: GVZ-Dresden, GVZ-Bremen NW, GVZ Weil am Rhein, GVZ Nuremberg, GVZ Frankfurt/Oder (etc), GVZ Osnabrück, GVZ Herne-Emscher, GVZ Kiel, GVZ Kassel, GVZ Hamburg, GVZ Bremen SW, GVZ Rostock, GVZ Koblenz (Рис. 2). В логистических центрах реализуется высокий уровень логистического сервиса, предполагающий доставку грузов к установленному сроку и «от двери до двери», хранение и грузопереработку [8].

По итогам 2019 года к категории «грузовых деревень» в Германии относят 38 логистических центров, к отличительным характеристикам которых относят:

- наличие высокопроизводительного интермодального терминала, обладающего автодорожным доступом и судоходным/железнодорожным развитием;
- наличие логистических провайдеров, транспортных компаний (экспедиторов, перевозчиков);
- наличие промышленных предприятий и торгово-распределительных мощностей с интенсивной логистикой;
- наличие единого девелопера/управляющей компании, обеспечивающей синергетический эффект от размещения

профильных резидентов и снижение расходов за счет совместной эксплуатации инженерно-коммуникационных сетей [9].

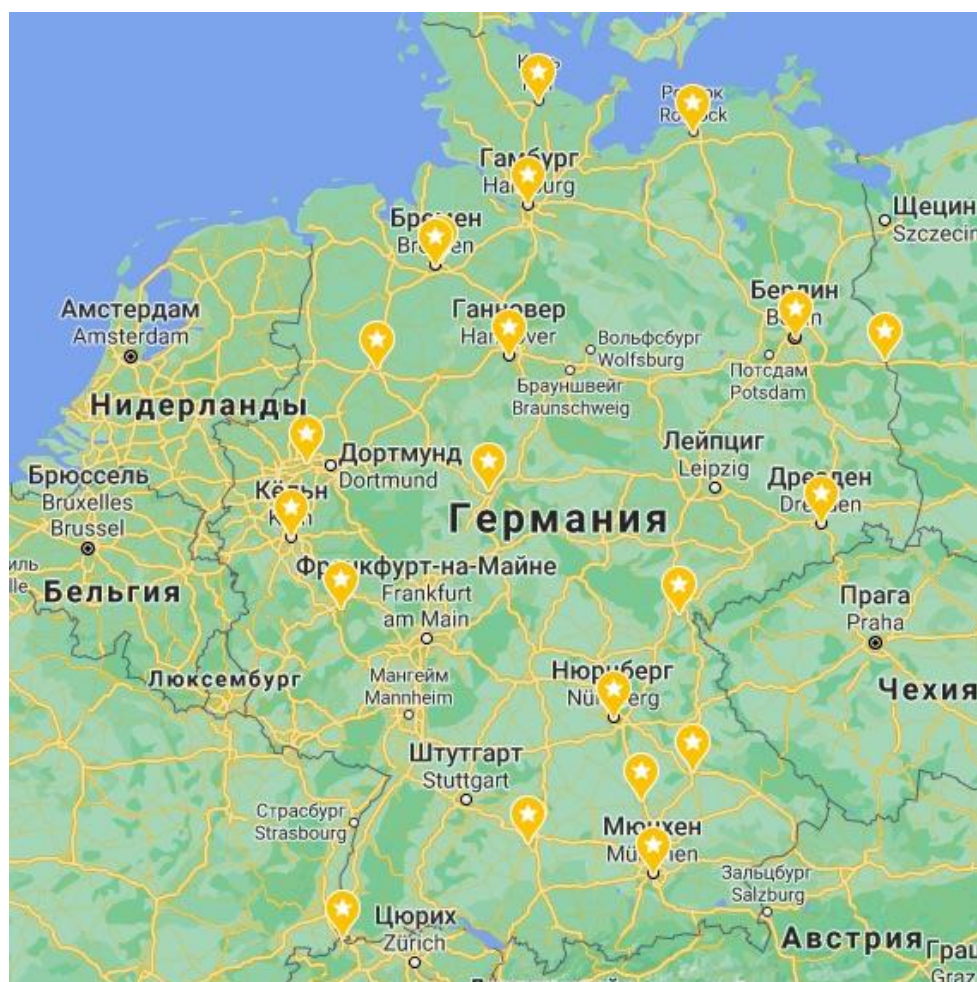


Рис. 2. Расположение логистических центров на территории Германии

Особенности формирования логистических центров в Италии

В 1971 году был создан первый логистический центр на территории Италии. География итальянских логистических центров и целесообразность их формирования с экономической точки зрения определяется близостью к пересечению важных национальных и трансъевропейских сухопутных и судоходных маршрутов, аэропортов, производственных центров, которые при экспорте продукции загружают транспортную инфраструктуру (Венеция, Верона, Триест, Болонья, Милан, Флоренция). На сегодняшний день практически во всех итальянских логистических центрах присутствует интермодальный терминал, созданный благодаря реализованной инвестиционной программе, участниками которой были государство, транспортная компания «Сemat» и железная дорога [10].

Цель итальянской концепции логистических центров – это сосредоточение потоков грузов при согласованной транспортной деятельности, привлечение транзитных грузопотоков по морю. Крупнейшими мультимодальными логистическими центрами на территории Италии являются: Interporto di Bologna, Interporto Marche, Interporto di Novara, Interporto Quadrante Europa, Interporto di Padova, Interporto di Parma, Interporto Rivalta Scrivia, Interporto di Rovigo, Interporto di Torino, Interporto di Venezia, Interporto di Verona (Рис. 3).

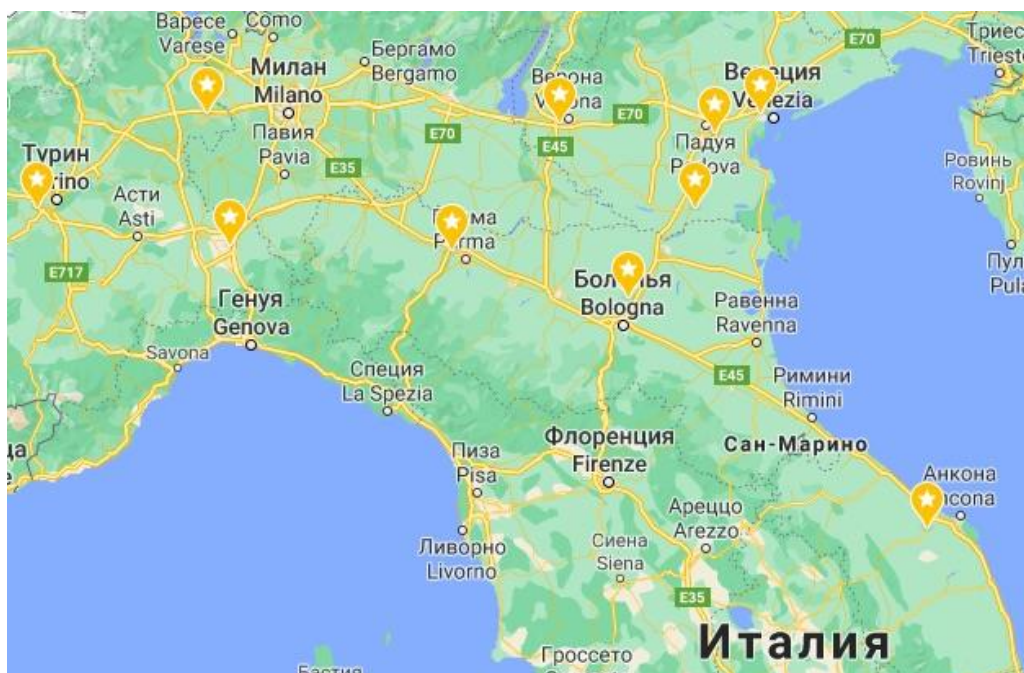


Рис. 3. Расположение логистических центров на территории Италии

На территории Европейского союза одним из крупнейших логистических центров является Bologna Freight Vilage (Interporto Bologna Spa), находящийся на территории Италии. Данный логистический центр расположен на пересечении четырех автомобильных и пяти крупнейших железнодорожных путей сообщения. Bologna Freight Vilage обслуживает порядка 16 % международного грузового трафика и около 35 % грузопотока национального происхождения. Центр состоит из 4 млн м², из которых 665 тыс. м² занимают железнодорожные и интермодальные объекты, а 600 тыс. м² – склады. Он расположен в районе, который является стратегическим для потока товаров, так как располагается между коридором № 3 (Средиземное море), Трансъевропейскими коридорами № 5 (Хельсинки-Лаваллетта) и № 1 (Балтийское-Адриатическое моря). Он спроектирован в соответствии с самыми последними урбанистическими критериями для облегчения логистики, перемещения товаров, работы операторов и экологической устойчивости [12].

Строительство итальянских логистических центров инициируется государственным сектором: мэрией городов, местными советами, региональными органами управления, торговыми палатами. Региональные органы власти осуществляют поддержку при планировании и разработке генерального плана. Финансирование для строительства логистических центров формируется за счет средств, инвестируемых бюджетами муниципальных органов власти и средств инвесторов (Рис. 4).

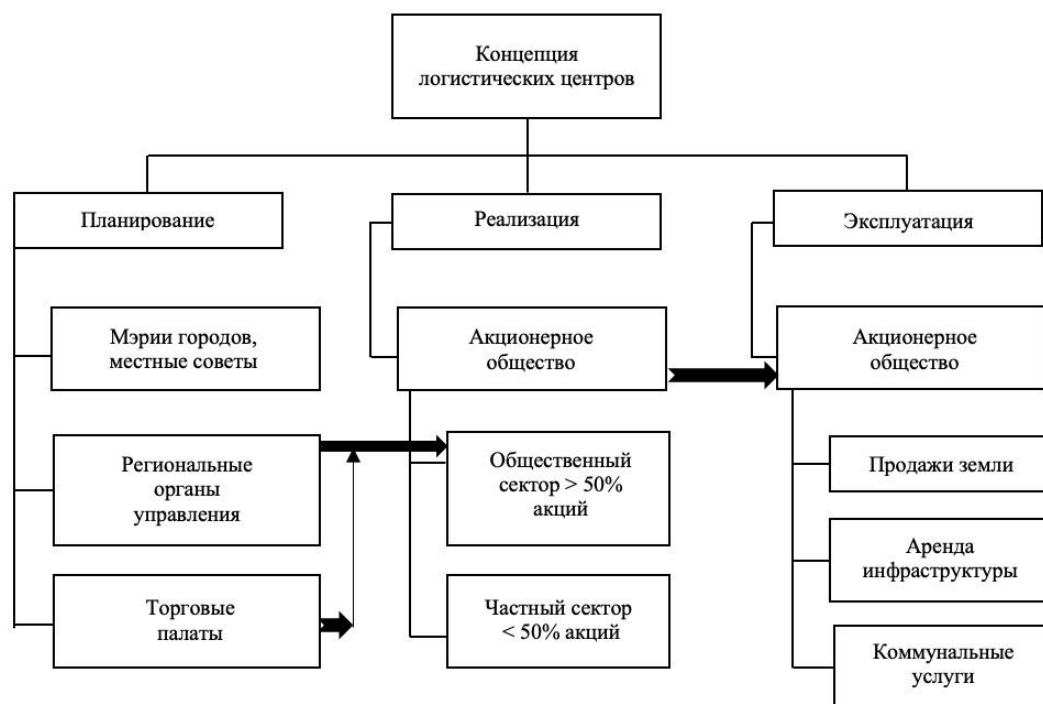


Рис. 4. Итальянская концепция логистических центров

В Табл. представлен сравнительный анализ крупнейших логистических центров, располагаемых на территории двух рассматриваемых европейских стран: GVZ Bremen (Германия) и Interporto Bologna Spa (Италия).

Таблица. Характеристика крупнейших логистических центров в Германии и Италии

Критерии/ название ЛЦ	GVZ Bremen	Interporto Bologna Spa
Площадь, км ²	4,7	4,1
Транспортно-логистическая инфраструктура	Железные и автомобильные, речные пути сообщения, контейнерный терминал	Железные и автомобильные пути сообщения, контейнерный терминал
Реализация	Государственно-частное партнерство	Государственно-частное партнерство
Участие государственных органов	Федеральные и региональные органы управления	Региональные, местные органы управления
Вспомогательные услуги	Таможня, парковка	Таможня, пункты питания, заправочная станция, телекоммуникационные услуги

Источник: Официальные сайты ЛЦ [13, 15]

Основное различие между двумя подходами заключается в транспортной инфраструктуре: так как для немецкой концепции основной целью формирования логистических центров является взаимодействие всех видов транспорта, то размещение центров и их инфраструктура направлена на комплексное взаимодействие различных видов транспорта: железнодорожный, автомобильный, речной порт, аэропорты; в свою очередь итальянская концепция имеет цель привлечение транзита по морю и в большей мере развивается взаимодействия морского и автомобильного транспорта или морского и железнодорожного транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ особенностей формирования логистических центров в Германии и Италии показал, что решения, реализуемые при создании логистических центров, имеют много общего: география расположения тяготеет к пересечению важнейших национальных и трансъевропейских сухопутных маршрутов, крупнейшие логистические центры формируются в железнодорожно-автомобильных транспортных узлах; немецкой и итальянской концепции присуще государственно-частное партнерство на этапе планирования и реализации проектов формирования логистических центров, которое выражается в выделении финансирования на развитие логистической инфраструктуры из федеральных и региональных бюджетов, а также за счет средств инвесторов. Основное отличие между подходами заключается в приоритетности развития объектов инфраструктуры логистических центров: немецкая модель больше сконцентрирована на комплексном взаимодействии всех видов транспорта, а итальянская концепция сфокусирована в большей степени на развитии морского и наземного транспорта.

Европа имеет большой опыт в создании логистических центров и сегодня основным направлением деятельности в развитие транспортно-логистической инфраструктуры является создание общеевропейской транспортно-логистической системы через объединения логистических центров, располагаемых по всей территории Европы. Основной целью создания данной системы является возможность «выпрямить» и ускорить движение товаров по международным транспортным коридорам.

Выявленные особенности формирования итальянских и немецких логистических центров могут быть использованы при создании на территории нашей страны развитой сети логистических центров, которая в дальнейшем сможет интегрироваться в общеевропейскую систему товародвижения. К основным мероприятиям, которые можно реализовать

при формировании логистических центров на территории нашей страны с учетом опыта европейских стран, относятся:

– предоставление комплексных логистических услуг, которые охватывают всю цепочку управления поставками, а не только транспортировку или складирование;

– применение государственно-частного партнерства при формировании и развитии логистических центров, так как при низкой степени участия государства происходит неравномерное распределение логистических центров по территории страны, строительством которых заняты отдельные компании. То есть именно государство должно взять на себя обязанности координатора по распределению логистических и транспортных объектов;

– комплексное развитие сетевой логистической инфраструктуры, основывающееся на мощности товаро- и грузопотоков с одновременным созданием единой технологии работы сети логистических центров;

– приоритет формирования крупной сети логистических центров, так как при такой организации достигаются максимальные возможности для расширения логистических сервисов и снижения затрат на их создание, и как результат снижение логистических издержек в цепях поставок за счет эффекта «масштабности».

Формирование и развитие единой сети логистических центров, в которой центры территориально и функционально согласованы с объектами инфраструктуры транспорта является основанием для создания целостного транспортного пространства. Развитие логистических центров в рамках единой трансъвропейской сети предоставит возможность оптимизировать затраты в цепях поставок, применить новейшие технологии грузопереработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Logistics centres directions for use. A report by EUROPLATFORMS E.E.I.G; 2004, January. 17 p.
2. Сергеев В.И. Общие тенденции развития логистических центров за рубежом // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 5 (52). – С. 7–18. [Sergeev VI. Obshhie tendencii razvitija logisticheskikh centrov za rubezhom. *Logistika i upravlenie cepjami postavok*. 2012;5(52):7-18. (In Russ.)].
3. Official website of The European Logistics Platforms Association [Internet]. [cited 2020 October 16]. Available from: https://www.europlatforms.eu/?page_id=150.
4. Европейский опыт организации транспортных логистических систем. [Evropejskij opyt organizacii transportnyh logisticheskikh sistem. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://m.vuzlit.ru/994808/evropeyskiy_opyt_organizatsii_transportnyh_logisticheskikh_sistem. Ссылка активна на 16.10.2020.
5. Джабраилов А.Э. Маркетинг. Логистика. Транспортно-складские логистические комплексы. Изд.: торговая корпорация «Дашков и К». Москва; 2010. – 386 с.

- [Dzhabrailov AJe. *Marketing. Logistika*. Transportno-skladskie logisticheskie komplekсы. Izd.: trgovaja korporacija Dashkov i K. Moscow; 2010. 386 p. (In Russ.)].
6. Транспортно-логистические центры: зарубежный опыт. [Transportno-logisticheskie centry: zarubezhnyj opyt. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/57650/. Ссылка активна на 16.10.2020.
 7. Курова А.Ю. Организационно-методическое обеспечение процессов формирования и функционирования логистических центров: дис. канд. экон. наук. – М., 2015. – 139 с. [Kurova AJu. Organizacionno-metodicheskoe obespechenie processov formirovaniya i funkcionirovaniya logisticheskikh centrov [dissertation]. Moscow; 2015. 139 p. (In Russ.)].
 8. Персдорф Г. Технологии и управление в логистике. Опыт Германии: материалы Российско-Германского семинара; 08.10.2010; Киров, Россия. – С. 124–137. [Gerhard Persdorf. Tehnologii i upravlenie v logistike. Opyt Germanii: materialy Rossijsko-Germanskogo seminar; 2010 October 8; Kirov, Russia. p. 124-137. (In Russ.)].
 9. Егоршев С.М. О подходах к реализации федерального проекта. Транспортно-логистические центры. 01.11.2019. Министерство транспорта Российской Федерации. [Egorshv SM. O podhodah k realizacii federal'nogo proekta. Transportno-logisticheskie centry. 01.11.2019. Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. (In Russ.)]. Доступно по: https://digitalrzd.ru/egorshev_prezentaciya_tlc_cmt.pptx. Ссылка активна на: 16.10.2020.
 10. Краснова И.И., Байкова Н.И., Каратченя А.В. Современные логистические центры // Современные концепции развития транспорта и логистики в Республике Беларусь. – 2014. – С 192. [Krasnova II, Bajkova NI, Karatchenja AV. Sovremennye logisticheskie centry. *Sovremennye koncepcii razvitija transporta i logistiki v Respublike Belarus*. 2014. pp. 192. (In Russ.)]. Доступно по: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/103886>. Ссылка активна на: 16.10.2020.
 11. Ващило А.А. Развитие транспортно-логистической деятельности в ЕС / Международная конференция «Европейский Союз и Республика Беларусь: перспективы сотрудничества». Минск. 2014. – С. 83–86. [Vashhilo AA. Razvitie transportno-logisticheskoy dejatel'nosti v ES. International conference The European Union and Republic of Belarus: Getting Closer for Better Future. Minsk; 2014. pp. 83–86. Ссылка активна на 16.10.2020. (In Russ.)]. Доступно по: https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104031/1/vashchilo_2014_EU_and_%20Republic_of_Belarus.pdf.
 12. Official website of Bologna Freight Vilage [Internet]. [cited 2020 October 16]. Available from: <https://www.interporto.it/en/>.
 13. Бензенко П.А. Формирование и развитие региональных логистических центров // Экономика и бизнес. Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 2 (42). – С. 90–95. [Benzenko PA. Formation and development of regional logistic centres. *Siberian State Automobile and Highway Academy*. 2015;2(42):90-95. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-i-razvitie-regionalnyh-logisticheskikh-tsentrov>. Ссылка активна на: 16.10.2020.
 14. Official website of GVZ Bremen [Internet]. [cited 2020 October 16]. Available from: <https://www.pcgpacking.de/en/home>.
 15. Копылова О.А. Проблемы выбора размещения логистических центров // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – С. 58–67.

[Kopylova OA. Problemy vybora razmeshheniya logisticheskikh centrov. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. 2011:58-67. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 16.10.2020. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vybora-mesta-razmescheniya-logisticheskikh-tsentrov>.

Сведения об авторах:

Тодуа Вероника Амирановна, студент;

адрес: 127055, Москва, Образцова, д. 9, стр. 9;

eLibrary SPIN: 8366-9525; ORCID: 0000-0003-0171-3195;

E-mail: toduaveronika@mail.ru

Бельницкий Данила Станиславович, к.э.н.;

eLibrary SPIN: 3453-2144; ORCID: 0000-0002-0199-5332;

Scopus ID: 698588; Researcher: AAX-6050-2020;

Mendeley: <https://www.mendeley.com/profiles/danial-belnitsky/>

E-mail: danila.belnitsky@gmail.com

Information about the authors:

Veronika A. Todua, student;

address: 127055, Moscow, Obraztsova, 9, bldg. 9;

eLibrary SPIN: 8366-9525; ORCID: 0000-0003-0171-3195;

E-mail: toduaveronika@mail.ru

Danila St. Belnitsky, Ph.D;

eLibrary SPIN: 3453-2144; ORCID: 0000-0002-0199-5332;

Scopus ID: 698588; Researcher: AAX-6050-2020;

Mendeley: <https://www.mendeley.com/profiles/danial-belnitsky/>

E-mail: danila.belnitsky@gmail.com

Цитировать:

Тодуа В.А., Бельницкий Д.С. Особенности формирования логистических центров в Германии и Италии // *Транспортные системы и технологии*. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 61–72. doi: 10.17816/transsyst20206461-72

To cite this article:

Todua VA, Belnitsky DS. Features of the formation of logistics centers in Germany and Italy. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):61-72. doi: 10.17816/transsyst20206461-72

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог

УДК [UDC] 625.122

DOI 10.17816/transsyst20206473-87

© А. А. Лычковский

Российский университет транспорта (МИИТ)

(Москва, Россия)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Технологическое регулирование сооружения земляного полотна становится неотъемлемой частью строительного процесса. Непрерывный контроль характеристик грунта на стадии строительства очень важен на всех видах грунта, в особенности на обводненных участках грунта и участках с высокотемпературной мерзлотой.

Цель: Формирование технико-технологической системы, функционирующей на принципах прямой и обратной связи между характеристиками геотехнических сооружений и параметрами строительной техники с целью наиболее эффективного и качественного производства работ.

Методы: Технологическое регулирование влажности земляного полотна при помощи технического воздействия на стадии морозного влагонакопления.

Заключение: Для мониторинга состояния земляного полотна во время строительства железных дорог целесообразно использовать опто-волоконный кабель, как датчик, который способен регистрировать характеристики грунта непрерывно по всей длине трассы.

Ключевые слова: интенсивная технология, регулирование характеристик земляного полотна, опто-волоконный кабель, строительство железных дорог.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Road Design and Construction

© A. A. Lychkovskiy

Russian university of transport (MIIT)

TECHNOLOGICAL REGULATION OF THE CONSTRUCTION OF THE ROADBED

Technological regulation of the construction of the roadbed becomes an integral part of the construction process. Continuous monitoring of soil characteristics at the construction stage is very important for all types of soil, especially for watered areas of soil and areas with high-temperature permafrost.

Aim: Formation of a technical and technological system that operates on the principles of direct and feedback between the characteristics of geotechnical structures and the parameters of construction equipment for the most efficient and high-quality production of works.

Methods: Technological regulation of the humidity of the roadbed by means of technical influence at the stage of frost moisture accumulation.

Conclusion: to monitor the condition of the roadbed during the construction of Railways, it is advisable to use an opto-fiber cable as a sensor that can record many characteristics of the ground continuously along the entire length of the route.

Keywords: intensive technology, regulation of roadbed characteristics, fiber-optic cable, railway construction.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение несущей способности оснований насыпей железных и автомобильных дорог актуальна на обводненных грунтах, а также соответствует «Транспортной стратегии РФ до 2030 г.», программам строительства северных магистралей при сооружении объектов на многолетнемерзлых грунтах [1]. На этих грунтах по мере возведения транспортных объектов характеристики грунтов меняются. Повышение среднегодовой температуры на большей части территории России активизирует негативные техногенные процессы в природно-транспортных комплексах ПТК [2].

Большинство обводненных грунтов в насыщенном водой состоянии не соответствуют по несущей способности, но, при уменьшении влажности, характеристики этих же грунтов будут соответствовать нормативным требованиям. В ходе работ на мерзлых и болотистых грунтах следует предусматривать противодеформационные мероприятия для защиты земляного полотна и повышать их несущую способность. Поэтому в данной статье рассмотрен способ профилактики и защиты основания насыпи на стадии морозного влагонакопления.

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Прочность основания земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте предлагается повысить в период морозного влагонакопления за счет технологии дренажа и регулируемого отжатия миграционной воды виброкатком в промерзающем грунте. Концепция заключается в устройстве дренажной системы и организации виброуплотнения основания непосредственно после завершения процесса миграции влаги к зоне промерзания для снижения влажности [3, 4].

Организация технологического регулирования строительных нагрузок должна быть параметрически связана с характеристиками процесса приращения влажности в промерзающей зоне основания за счет миграции влаги из нижних зон [4]. В этом сложном процессе непрерывно изменяются характеристики:

- Температурный импульс для начала влагонакопления;
- Глубина промерзания;
- Критическая влажность пучения грунта;
- Скорость движения влаги;
- Соотношения между температурой и содержанием незамерзшей воды в зоне промерзания;
- Влагопроводимость талого и мерзлого грунта.

Для регистрации характеристик грунтов в ходе работ предлагается организовать технологический мониторинг в режиме реального времени на основе современных средств – опто-волоконного кабеля (ВОК) и геофизических методов исследования.

Для технологического регулирования процессов упрочнения переувлажненных грунтов предлагается применение разработанной в РУТ (МИИТ) комплексной технологии возведения земляного полотна, включающей этапы:

- 1) Подготовительный этап;
- 2) Устройство дренажной системы в верхнем слое основания;
- 3) Организация виброуплотнения грунтов и отжатия воды в дренажную систему.

В подготовительный период на первом этапе следует выполнить работы по устройству сетей контроля температурного режима оснований и пространственных деформаций земляного полотна, которые позволят зарегистрировать изменения параметров теплообмена насыпи, основания и окружающей среды. В ходе работ могут измениться многие начальные характеристики объекта, особенно насыпи, включая состав грунтов. Начальный и регулярный опросы сетей особенно важны при длительном использовании технических решений по отжатию воды и стабилизации грунтов оснований для учета их состояния во времени.

Второй этап данной комплексной технологии – устройство дренажа в виде дренажных прорезей (ширина до 1,5 м, глубина до 1 м, крупный песок с коэффициентом фильтрации свыше 4 м/сут.) и защитного песчаного слоя с геотекстилем [5]. Прорези в слабых водонасыщенных грунтах обеспечивают ускорение консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации и отвода воды. Работы по устройству дренажной системы следует завершить до промерзания деятельного слоя, чтобы использовать процессы миграции воды в защитный слой и отжатие по дренажным прорезям [6].

Произведем расчет на основе данных, приведенных в Табл. 1 и 2:

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов основания на ПК 3083+50 – ПК 3084+50 [7]

Инженерно-геологический элемент	Глубина, м	Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	Влажность на границе раскатывания W_p , д.е.	Модуль деформации E , МПа	Сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град.
Суглинок текучепластичный, легкий	1,7	1,44	0,245	8	0,011	11
Суглинок текучий	3,3	1,53	0,219	10	0,009	10

Снижение накопленной влажности грунтов за счет дренажной системы:

$$\Delta W = n \cdot \frac{\gamma_B}{\rho_d} - (1 + \alpha) \cdot W_p, \quad (1)$$

где n - пористость грунта, % (0,46);

γ_B - плотность воды (10 т/м³);

ρ_d - плотность скелета грунта, т/м³ (14,4 т/м³);

α - количество капиллярно застрявшей воды в долях (0,1);

W_p - влажность на границе раскатывания, д.е. (0,245 д.е.);

$$\Delta W = 0,46 \cdot \frac{10}{14,4} - (1 + 0,1) \cdot 0,245 = 5 \%$$

Из-за уменьшения влажности деятельного слоя в период морозного пучения и оттаивания, за счет отвода накопленной защитным слоем воды за пределы строительной площадки, изменились и прочностные характеристики грунта:

Влажность $W=26,7 \%$;

Сцепление $C=16,5$ кПа;

Угол внутреннего трения $\varphi=13,7^\circ$.

Третий этап – виброуплотнение грунтов в интенсивном режиме с применением виброкатка, отжатие воды и пошаговое ежедневное повышение технологической нагрузки при мониторинге состояния грунтов и нагрузок. [4] Выбор типа виброкатка и режима его работы должен быть выполнен с учетом ограничения:

$$[P_6(c, \varphi, w) - P_n] \geq [P_k + P_3], \quad (2)$$

где P_6 – безопасная нагрузка, не вызывающая появления предельного состояния грунта по сдвигу, зависит от состояния грунта в технологическом цикле; P_k – регулируемая нагрузка виброкатка,

зависящая от веса вальца, скорости движения и амплитуды вибрации; P_3 – нагрузка от песчаного защитного слоя; P_{Π} – поровое давление [2].

Отжатие воды происходит наиболее эффективно во время промерзания грунта. В этом заключается главная особенность и вместе с тем сложность – выбор оптимального времени начала уплотнения грунтов в интенсивном режиме. Глубина промерзания рассчитывается по формуле:

$$\xi_3 = \sqrt{s_3^2 + \frac{2\lambda_M |\Omega_3^{\text{покр}}|}{Q_{\phi}}} - s_3; \quad (3)$$

$$s_3 = \lambda_M (\overline{R_{CH}} + R_{\Pi}^3). \quad (4)$$

Определение глубины оттаивания в летний период:

$$\xi_L = \sqrt{s_L^2 + \frac{2\lambda_T \Omega_L^{\text{покр}}}{Q_{\phi}}} - s_L; \quad (5)$$

$$s_L = \lambda_T R_{\Pi}^L, \quad (6)$$

где R_{Π}^L , R_{Π}^3 – летнее и зимнее термические сопротивления напочвенного покрова;

R_{CH} – среднее термическое сопротивление снежного покрова;

λ_M , λ_T – соответственно теплопроводность талой и мерзлой породы слоя;

Q_{ϕ} – теплота фазовых переходов промерзающего слоя;

$\Omega_L^{\text{покр}}$, $\Omega_3^{\text{покр}}$ – сумма градусо-часов за летний и зимний период на дневной поверхности,

ξ_L – глубина летнего оттаивания грунта,

ξ_3 – глубина зимнего промерзания грунта [8].

Таблица 2. Теплотехнические характеристики грунта основания насыпи участка железнодорожной линии Обская – Салехард ПК 3083+50 – ПК 3084+50

Расчетный слой	Грунт	Термическое сопротивление напочвенного покрова, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})/\text{ккал}$		Среднее термическое сопротивление снежного покрова $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})/\text{ккал}$	Теплопроводность грунта, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$		Теплота фазового перехода промерзающего слоя тыс. $\text{ккал}/\text{м}^3$	Сумма градусо-часов на дневной поверхности	
		Летнее	Зимнее		мерзлого	талого		Зимний период	Летний период
		$R_{\text{покр}}^L$	$R_{\text{покр}}^3$		R_{CH}	λ_M			
Напочвенный покров (естественные условия)	Мох	0,12	0,25	0,5	-	-	-	-100000	60000
Естественные условия	Суглинок	-	-	-	1,71	1,52	19921	-	-

$$s_{л} = 1,52 \cdot 0,12 = 0,18$$

$$\xi_{л} = \sqrt{0,18^2 + \frac{2 \cdot 1,52 \cdot 60000}{19921}} - 0,18 = 2,85 \text{ м}$$

$$s_{з} = 1,71 \cdot (0,5 + 0,25) = 1,28$$

$$\xi_{з} = \sqrt{1,28^2 + \frac{2 \cdot 1,71 \cdot |-100000|}{19921}} - 1,28 = 3,05 \text{ м}$$

Расчет показал, что значение глубины зимнего промерзания превышает глубину летнего оттаивания, а это значит, что деятельный слой составит 2,85 м.

В дальнейшем в качестве расчетной толщи основания будет принята верхняя часть деятельного слоя мощностью 1,7 м, сложенная суглинком легким пылеватым текучепластичным.

Во время промерзания грунта, как только отрицательные температуры достигнут половины глубины промерзания грунта, следует начинать интенсивное уплотнение грунта с отжатием воды в дренаж [9]. До этого следует определить вид катка, в зависимости от критической нагрузки на грунт. Определим критическую нагрузку на грунт:

$$P_{кр} = \frac{\pi \cdot (\gamma \cdot h + C \cdot \cot(\varphi))}{\cot(\varphi) + \varphi - \frac{\pi}{2}} + \gamma \cdot h \quad (7)$$

где γ – удельный вес грунта, т/м³;

h – толщина защитного слоя, м;

C – удельное сцепление грунта основания, кПа;

φ – угол внутреннего трения грунта основания, рад.

$$P_{кр} = \frac{3,14 \cdot (18,15 \cdot 0,4 + 16,5 \cdot 4,102)}{4,102 + 0,24 - \frac{3,14}{2}} + 18,15 \cdot 0,4 = 92,14 \text{ кН/м}^2$$

Для уплотнения грунтов следует выбрать каток, параметры которого соответствуют критической нагрузке на основание. Примем и проверим грунтоуплотняющий каток НАММ 3520 со следующими характеристиками:

- масса, т – 22,5;
- вынуждающая сила, кН – 243;
- ширина вальца, м – 2,22;
- частота вибрации, Гц – 27-30;
- общая нагрузка от катка, кН – 463,65

Нагрузка от катка на поверхность деятельного слоя определяется:

$$P_k = \frac{M_k}{d \cdot l} \quad (8)$$

где M_k – общая масса катка с учетом вынуждающей силы, кН;

d – ширина следа от катка, м; (0,5м)

l – ширина вальца виброкатка, м;

$$P_k = \frac{463,65}{0,5 \cdot 2,22} = 208,6 \text{ кН/м}^2$$

Так как нагрузка от катка превышает критическую нагрузку на грунт, защитного слоя грунта предлагается армировать. Для армирования применим иглопробивной термоскрепленный гидроизоляционный геотекстиль Terrasafe 4000.

Нагрузка от собственного веса грунта:

$$P_g = \gamma_n \cdot h_n = 18,15 \cdot 0,4 = 7,26 \text{ кПа.}$$

Проверка несущей способности слабого основания:

$$P_g^{кр} + kP_{гт} \geq P_o, \quad (9)$$

где $P_g^{кр}$ – критическая нагрузка на грунт;

P_o – суммарная нагрузка, действующая на слабое основание;

$P_{гт}$ – допустимая дополнительная нагрузка, воспринимаемая армирующей прослойкой, кПа;

K – поправочный коэффициент к напряжениям $k = 0,35$ [10].

Суммарная нагрузка, действующая на слабое основание, равна:

$$P_o = P_k k + P_g = 463,65 \cdot 0,35 + 7,26 = 169,5 \text{ кПа}$$

Найдём критическую нагрузку на слабый грунт по формуле:

$$P_g^{кр} = M_1 C + M_2 \gamma_n h_n + M_3 D_z \gamma_{осн} \quad (10)$$

Из (10) при $\varphi = 13,7^0$ значения: $M_1=12,9$; $M_2=8,9$; $M_3=0,65$; $D_z=1,2$ м

$$P_g^{кр} = 12,9 \cdot 16,5 + 8,9 \cdot 18,15 \cdot 0,4 + 0,65 \cdot 1,2 \cdot 19,91 = 293 \text{ кПа}$$

Согласно (10) определяем параметр $A=235$ кПа/м и затем рассчитаем

$P_{гт}$:

$$P_{гт} = Ah_n = 235 \cdot 0,4 = 94 \text{ кПа.}$$

Проверяем условие по несущей способности:

$$293 + 0,35 \cdot 94 > 169,5 \text{ кПа}$$

Условие выполняется.

Разделим основание на расчетные слои по прочностным характеристикам (для определения напряжений от строительной нагрузки):

– защитный слой (0,4 м);

- деятельный слой (1,7 м);
- деятельный мерзлый слой (3,3 м);
- многолетнемерзлый грунт (ММГ)

Напряжения на глубине определяются по следующему выражению:

$$\sigma = \frac{P_k}{\pi} (\alpha + \sin \alpha), \quad (11)$$

где P_k - нагрузка от катка.

Вертикальные напряжения на глубине 0,2 м (середина защитного слоя) равны:

$$\sigma_1 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_1 + \sin \alpha_1) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (2,79 + 0,342) = 169,07 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 0,4 м (верх деятельного слоя) равны:

$$\sigma_2 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_2 + \sin \alpha_2) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (2,44 + 0,643) = 166,42 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 0,9 м (0,5 м от верха деятельного слоя) равны:

$$\sigma_3 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_3 + \sin \alpha_3) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (1,78 + 0,978) = 148,88 \text{ кПа}$$

Вертикальные напряжения на глубине 1,25 м (середина деятельного слоя) равны:

$$\sigma_4 = \frac{P_k}{\pi} (\alpha_4 + \sin \alpha_4) = \frac{169,5}{3,14} \cdot (1,45 + 0,993) = 131,88 \text{ кПа}$$

Улучшение грунтовых характеристик происходит при изменении влажности по следующему выражению:

$$W = W_{\text{пр}} - \frac{W_{\text{пр}} S}{h} \quad (12)$$

где $W_{\text{пр}}$ – влажность расчетного слоя, д.е.;

S – осадка за расчетный период, м;

h – мощность расчетного слоя, м.

Изменение модуля деформации E связано с изменением влажности грунта и определяется по формуле согласно [3]:

$$\Delta E = \frac{E_{\text{нач}} \left(J_{\text{нач}} - \frac{W_{\text{кон}} - W_{\text{раск}}}{J_p} \right)}{J_{L\text{max}} - J_{L\text{min}}} \quad (13)$$

где $J_{\text{нач}} = \frac{W_{\text{пр}} - W_{\text{раск}}}{W_{\text{тек}} - W_{\text{раск}}}$ – начальный показатель консистенции грунта;

$W_{\text{раск}}$ – влажность грунта на границе раскатывания, д.е.;

$W_{\text{кон}}$ – влажность грунта после работы катка и отжатия воды, д.е.;
 J_p – число пластичности грунта, д.е.
 $E_{\text{нач}}$ – модуль деформации грунта, МПа;
 J_{Lmax} и J_{Lmin} – максимальный и минимальный показатель консистенции грунта слоя основания.

Изменение всех параметров грунта представлены в Табл. 3:

Таблица 3. Изменение параметров грунта
на участке ж-д линии Обская – Салехард ПК 3083+50 – ПК 3084+50

	Параметры	Начальные параметры	Конечные параметры
Деятельный слой	Осадка S, м	-	0,1935
	Влажность W, %	26,7	19,9
	Угол внутреннего трения φ , град	13,7	18,3
	Удельное сцепление C, кПа	16,5	25
	Модуль деформации E, кПа	2450	4617
	Критическая нагрузка $R_{кр}$, кПа	116,8	185,12

Для контроля температурного режима оснований, пространственных деформаций земляного полотна, мониторинг процессов промерзания и регулирования вибронагрузок в период строительства предлагается вести с применением современных средств диагностики – ВОК и режимных термометрических сетей, которые устраивают по проектной документации (ПД) для стадии эксплуатации земляного полотна. Для контроля хода температур и температурного поля глубину заложения ВОК целесообразно установить равной половине деятельного слоя. Это позволит определить фактическую степень пучинистости грунта и контролировать вибронагрузки. Для наиболее опасных мест будущей трассы предлагается применять метожи сейсморазведки.

СЕЙСМОРАЗВЕДКА ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ТРАССЫ

Инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая рельеф, геологическое строение, сейсмотектонические, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы, и составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия

проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для обоснования проектной подготовки строительства, в том числе мероприятий инженерной защиты объекта строительства, в том числе для повышения несущей способности основания [11].

По результатам маршрутных наблюдений следует намечать места более детальных исследований, составления опорных геолого-гидрогеологических разрезов, определения характеристик состава, состояния и свойств грунтов для применения интенсивной технологии на участках со слабым основанием.

Стационарные наблюдения выполнять для изучения динамики развития опасных криогенных процессов, участки с вечной мерзлотой глубиной более 3 м, в которых происходит деградация мерзлоты. Необходимо исследовать динамику сезонного оттаивания, промерзания и температуры грунтов в слое нулевых годовых колебаний, а также осадки, пучения грунтов основания сооружений.

Мониторинг этих участков должен быть выполнен по индивидуальной программе. Предлагается использовать широкополосную сейсмическую аппаратуру для мониторинга земляного полотна в строительный период.

Сейсморазведка позволяет следить за изменениями в грунте от воздействия вибраций, которые будут происходить во время уплотнения грунтов виброкатком. Она позволяет анализировать смещением грунта в трех плоскостях и строить соответствующие модели деформаций оснований. Эти модели позволяют определить динамику развития деформаций и смещений и разработать прогноз состояния насыпи на перспективу [11].

В перспективе на основе широкополосной сейсмической аппаратуры и волоконно-оптических кабелей целесообразно создание сети мониторинга за состоянием всех участков основания земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте строящейся железной дороги.

Опыт разработки технологического регламента строительства участков Северного широтного хода (СШХ) показал наличие таликовых зон, которые состоят, как правило, из грунтов с низкой несущей способностью в основании земляного полотна [12]. Предложенная модификация комплексной технологии в сочетании с ВОК создает предпосылки для прогнозирования и устранения потенциально-опасных мест, профилактике пучения грунтов и соответственно для стабилизации основания [13]. Эти преимущества приводят к ускорению консолидации, сокращению сроков строительства и, соответственно, – к экономической эффективности комплексной технологии упрочнения грунтов.

Постоянный контроль температуры грунта на всем протяжении трассы, где есть слабые водонасыщенные грунты, позволяет с большей точностью определять время начала и скорость промерзания грунта, что в свою очередь позволит использовать процесс миграции воды с большей эффективностью.

Принцип работы кабеля ВОК заключается в определении влияния физических воздействий на характеристики светопрозрачности в волокне. Таким образом, оптоволокно может быть использовано в качестве линейного сенсора [14].

В методике интенсивной технологии с применением ВОК следует учитывать особенности определения нагрузок, действующих на земляное полотно, и расшифровки данных, переданных от кабеля, на стационарные посты мониторинга. Нагрузки, действующие на верх земляного полотна, уменьшаются с глубиной. Для учета этого фактора определены коэффициенты и графики изменения величины нагрузки в зависимости от вида катка, грунтов и глубины заложения ВОК.

Таким образом, нагрузка, действующая на верх земляного полотна, после обработки данных с ВОК будет определяться с помощью формулы:

$$P_d = \frac{P_{\text{каб}}}{\xi}, \quad (14)$$

где P_d – действующая нагрузка на земляное полотно;

ξ – коэффициент изменения величины нагрузки, зависящий от вида катка и глубины заложения кабеля;

$P_{\text{каб}}$ – величина нагрузки, полученная с помощью ВОК.

График изменения коэффициента уменьшения величины напряжения по глубине в зависимости от вида катка ξ представлены на Рис.1, 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивная технология упрочнения слабых и просадочных грунтов повышает стабильность основания в процессе строительства дорог в условиях криолитозоны. Предложенная модификация интенсивной технологии стадией отжатия миграционной влаги в период морозного влагонакопления за счет дренажной системы и виброуплотнения в режиме технологического регулирования в сочетании с применением ВОК позволяет стабилизировать основание и увеличить несущую способность грунтов для развития дорог Арктики [15, 16].

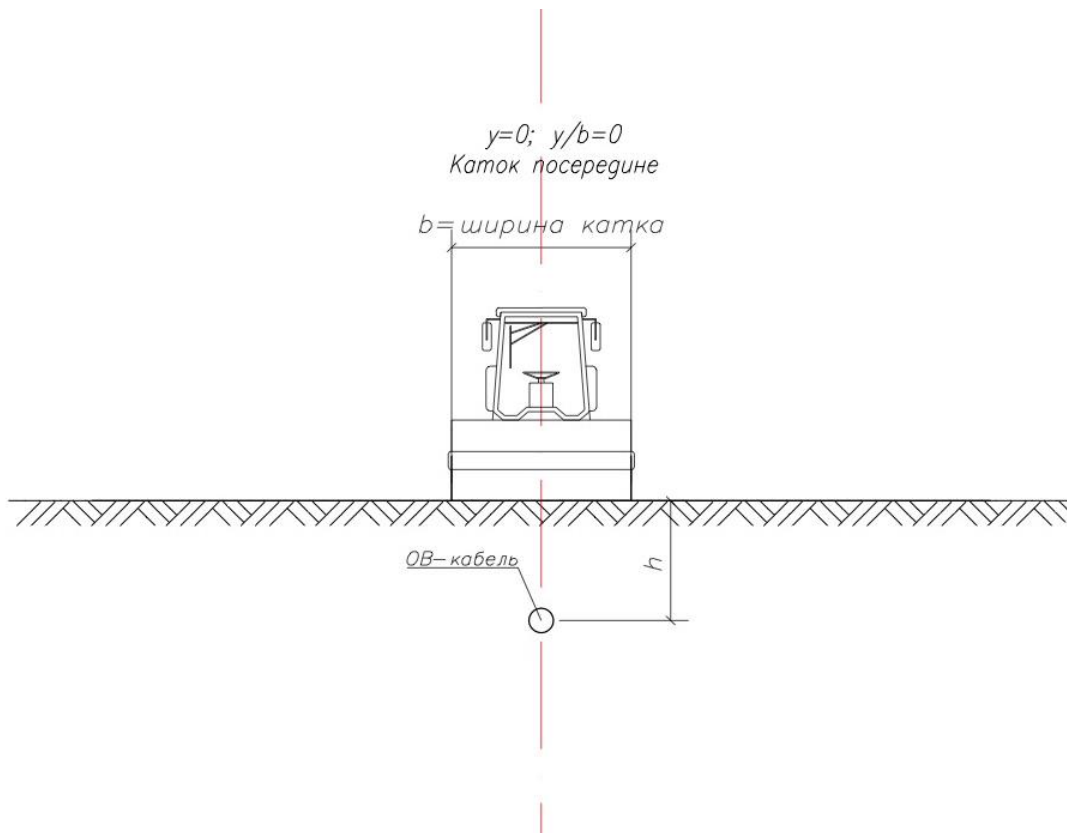


Рис. 1. Схема для определения изменения величины нагрузки (каток над кабелем)

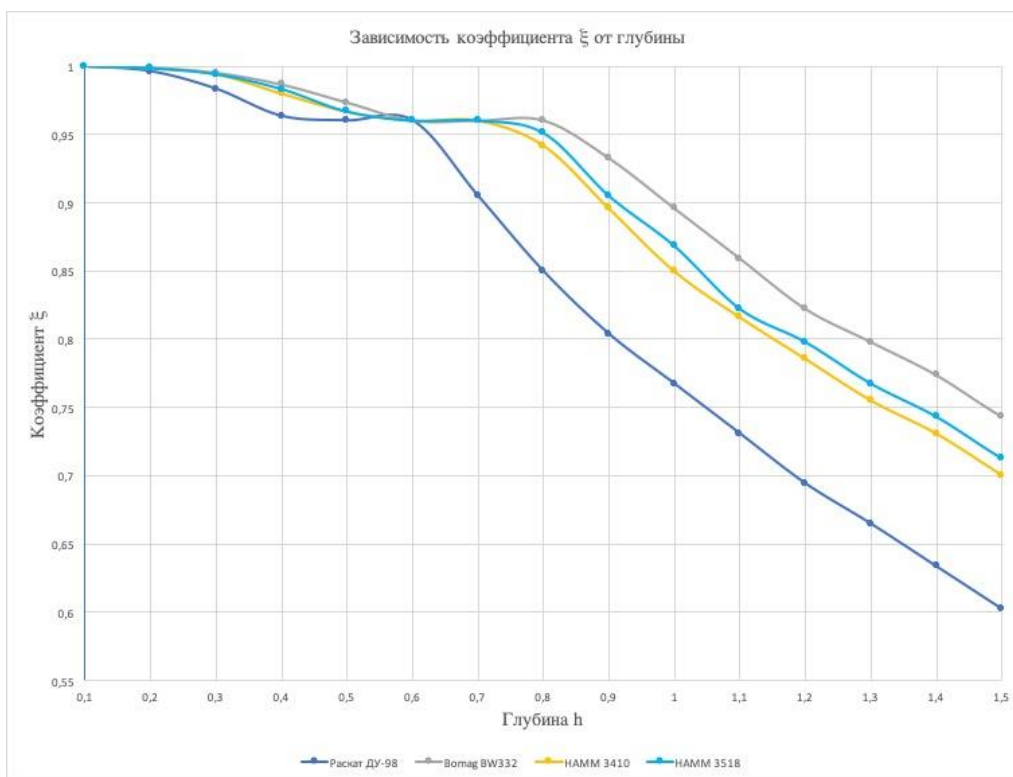


Рис. 2. График изменения коэффициента уменьшения величины напряжения по глубине в зависимости от вида катка ξ (каток над кабелем)

Применение ВОК позволяет повысить точность и оперативность определения температуры грунта по сравнению с термометрическими средствами, для которых устраивают инженерно-геологические и целевые термометрические скважины [17, 18].

Применение опто-волоконного кабеля сопровождает интенсивную технологию упрочнения грунтов в основании земляного полотна не только непрерывным контролем за изменениями температуры грунта, но и позволяет более точно определять температуру грунта в любой точке на всем протяжении, где расположен опто-волоконный кабель, в то время как термометрические скважины дают данные по температуре только в тех местах, где расположены скважины.

После строительства кабель ВОК может быть использован для мониторинга состояния железнодорожного земляного полотна при развитии транспортной инфраструктуры в экстремальных условиях Заполярья.

РЕКОМЕНДАЦИЯ К ПЕЧАТИ

Доктор технических наук, профессор института пути, строительства и сооружений РУТ(МИИТ) Луцкий Святослав Яковлевич является научным руководителем аспиранта Лычковского Александра Александровича и рекомендует данную статью к публикации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Приказ Президента РФ №296 от 27.06.2014: «Определить сухопутные территории Арктической зоны Российской Федерации». [Prikaz Prezidenta RF №296 ot 27.06.2014: "Opredelit' suhoputnye territorii Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii" (In Russ.)]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38377> Дата обращения: 27.06.2017.
2. Тулайков Н.М. К вопросу о влиянии климата на характер почв. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 979 с. [Tulaykov NM. K voprosu o vliyaniy klimata na harakter pochv. Moscow: Kniga po Trebovaniyu; 2012. 979 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.gde-kniga.ru/books/k-voprosu-o-vliyaniy-klimata-na-harakter-pochv-n-m-tulaykov-9785458607841-6e8baa25-3167-4f21-aa8c-994ce5385421>. Ссылка активна на: 27.11.2020.
3. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях. – М.: Тимр, 2005. – 96 с. [Rekomendacii po intensivnoj tekhnologii i monitoringu stroitel'stva zemlyanyh sooruzhenij na slabyh osnovaniyah. Moscow: Timr; 2005. 96 p. (In Russ.)].
4. Луцкий С.Я., Сакун Б.В. Теория и практика транспортного строительства. – М.: Первая образцовая типография, 2018. – 304с. [Lutskiy SYa, Sakun BV. Teoriya i praktika transportnogo stroitel'stva. Moscow: Pervaya obrazcovaya tipografiya; 2018. 304 p. (In Russ.)].
5. Kempfert H-G, Stadel M, Zaeske D. Berechnung von geokunststoffbewehrten

- Tragschichten über Pfahlelementen. Bautechnik. 1997;74(12):8-2.
6. Liu JK, Peng L. Experimental Study on the Unconfined Compression of a Thawing Soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2009;58:92-96. doi: 10.1016/j.coldregions.2009.03.008
 7. Строительство новой железнодорожной линии «Обская - Салехард». Проектная документация. Раздел 5 «Проект организации строительства». Книга 1. Общая пояснительная записка. 6550-004-ПОС 1. Том 5.1. «ЛЕНГИПРОТРАНС». 2013 [Construction of a new railway line "Ob - Salekhard". Project documentation. Section 5 "construction organization Project". Book 1. General explanatory note. 6550-004-POC 1. Volume 5.1. "LENGIPROTRANS". 2013 (In Russ.)].
 8. Дыдышко П.И. Проектирование земляного полотна железнодорожного пути: справочное пособие. М.: Интекст, 2011. – 152 с. [Dydyshko P. I. Design of the railway trackbed: reference guide. Moscow: Intext, 2011. - 152 p. (In Russ.)].
 9. Хрипков К.Н. Конструктивно-технологические решения по сооружению земляного полотна в таликовых зонах распространения многолетнемерзлых грунтов: дис. канд. техн. наук. – М.; 2015. – 212 с. [Hripkov KN. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya po sooruzheniyu zemlyanogo polotna v talikovykh zonah rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh gruntov. Moscow; 2015. 212 p. (In Russ.)].
 10. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.5.003-2010 «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог» (с изменениями и дополнениями) [Industry road methodological document ODM 218.5.003-2010 "Recommendations for the use of geosynthetic materials in the construction and repair of highways" (with amendments and additions) (In Russ.)].
 11. СП 11-105-97 часть 1 Инженерно-геологические изыскания для строительства Часть 1. Общие правила производства работ – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997 – 63 с. [Code of practice 11-105-97 part 1. Engineering geological site investigations for construction Moscow: PNIIS Gosstroj Russii; 1997. 63 p. (In Russ.)].
 12. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с. [Recommendations for accounting and prevention of deformations and forces of frost heaving of soils. PNIIS. Moscow: Stroizdat; 1986. 72 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://files.stroyinf.ru/Data1/50/50944/>
 13. Неугодников А.П., Ахлебинин М.Ю., Егоров Ф.А., Быковский В.А. Строительный мониторинг на базе волоконно-оптических датчиков. Опыт и результаты применения для высотных зданий / Междунар. симп. «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск, 2009. [Neugodnikov AP, Akhlebinin MYu, Egorov FA, Bykovskiy VA. Stroitelnyy monitoring na baze volokonno-opticheskikh datchikov. Opyt i rezul'taty primeneniya dlya vysotnykh zdaniy. In Mezhd. Simp. "Modern Problems of Concrete and Reinforced Concrete". Minsk, 2009. (In Russ.)].
 14. Удд Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с. [Udd E. Volokonno-opticheskie datchiki. Vvodnyy kurs dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov. Moscow: Tekhnosfera; 2008. 520 p. (In Russ.)]. Доступно по: <http://bookre.org/reader?file=718954>. Ссылка активна на: 27.11.2020.
 15. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – М., 2012. – 123 с. [SP 25.13330.2012. Osnovaniya i fundamenty na

- vechnomerzlykh gruntakh. Moscow; 2012. 123 p. (In Russ.)).
16. ВСН-61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты. Минтрансстрой СССР. – М.: ЦНИИС, 1990. – 208 с. [VSN-61-89. Izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo zheleznykh dorog v rajonah vечноj merzloty. Mintransstroj USSR. Moscow: CNIIS, 1990. 208 p. (In Russ.)].
 17. ГОСТ 25358-2012 Грунты. метод полевого определения температуры (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с. [GOST 25358-2012 Grunty. metod polevogo opredeleniya temperatury (Pereizdanie). Moscow: Standartinform; 2019. 19 p. (In Russ.)].
 18. Томышев К.А., Баган В.А., Астапенко В.А. Распределенные волоконно-оптические датчики давления для применения в нефтегазовой промышленности. Труды МФТИ. – 2012. – Т. 4. – № 2. – С. 64–72. [Tomyshev KA, Bagan VA, Astapenko VA. Raspredelennye volokonno-opticheskie datchiki davleniya dlya primeneniya v neftegazovoj promyshlennosti. *Trudy MFTI*. 2012;(2):64-72. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelyonnye-volokonno-opticheskie-datchiki-davleniya-dlya-primeneniya-v-neftegazovoy-promyshlennosti/viewer>. Ссылка активна на: 27.11.2020.

Сведения об авторе:

Лычковский Александр Александрович, аспирант;
eLibrary SPIN: 2671-9305; ORCID: 0000-0002-2663-0508;
E-mail: Alexander_L12@mail.ru

Information about the author:

Alexander A. Lychkovskiy, postgraduate;
eLibrary SPIN: 2671-9305; ORCID:0000-0002-2663-0508;
E-mail: Alexander_L12@mail.ru

Цитировать:

Лычковский А.А. Технологическое регулирование сооружения земляного полотна // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 73–87. doi: 10.17816/transsyst20195173-87

To cite this article:

Lychkovskiy AA. Technological Regulation of the Construction of the Roadbed. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):73-87. doi: 10.17816/transsyst20106473-87

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Математическое моделирование

УДК [UDC] 004.942+51-77
DOI10.17816/transsyst20206488-97

© В. П. Герасименко

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ РЕГИОНОВ КОРОНАВИРУСОМ COVID-19

Обоснование: Необходимость исследования обусловлена существенным запросом практики принятия обоснованных решений на изоляцию населения в условиях существования повышенных рисков его заражения.

Цель: Выполнить математическое моделирование динамики региональных ключевых показателей распространения эпидемии коронавируса и с их помощью оценить прогноз изменения сроков ее завершения.

Методы: Использован регрессионный анализ как один из методов, использующий наилучшую оценку параметром статистических моделей, обеспечивая высокое качество. Для построения моделей использованы статистические данные, которые формируются путем мониторинга координационными советами по борьбе с распространением COVID-19 в регионах и в стране.

Результаты: Предложенный методический аппарат позволил, на основании мониторинговых данных координационного совета по борьбе с распространением коронавируса Санкт-Петербурга, осуществить моделирование и прогнозирование хода заболевания и лечения в регионе.

Практическая значимость: Предлагаемый подход дает возможность обосновано рекомендовать администрации и органам здравоохранения управленческие решения по созданию нормальных экономических и социальных условий жизни жителей регионов России, их занятости, в том числе обучению, в период распространения коронавируса.

Рекомендации: Продолжать совершенствование аппарата моделирования и прогнозирования ключевых показателей распространения COVID-19.

Ключевые слова: пандемия COVID-19, регрессионная модель, ключевые показатели, коррелограмма, прогноз.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Mathematical Modeling

© **P. V. Gerasimenko**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

MODELING AND PREDICTION OF INDICATORS OF DYNAMICS OF DISEASES OF RESIDENTS OF REGIONS CORONAVIRUS COVID-19

Background: To carry out mathematical modeling of key indicators of the spread of the coronavirus epidemic and, with their help, evaluate the forecast of the dynamics of its completion time.

Aim: Due to a substantial request for the practice of making informed decisions to isolate the population in the face of the uncertainty of the increased risks of infection.

Methods: The regression analysis was used as a method that uses the best parameter estimation of mathematical models, providing high quality dynamics of key indicators of the spread of the epidemic. To build the models, statistical data were used, which are generated by monitoring by coordinating councils to combat the spread of COVID-19 in the regions of the Russian Federation.

Results: The proposed methodological apparatus allowed, based on the monitoring data of the coordinating council to combat the spread of St. Petersburg coronavirus, to carry out modeling and prediction of the course of the disease in the region.

Conclusion: The proposed approach makes it possible to justifiably recommend management decisions to the administration and health authorities to create normal economic and social living conditions for residents of Russian regions, their employment, including training, during the spread of coronavirus.

Recommendations: Continue to improve the apparatus for modeling and forecasting key distribution indicators of COVID-19.

Keywords: COVID-19 pandemic, regression model, key indicators, correlogram, forecast.

ВВЕДЕНИЕ

Экономические условия жизни жителей регионов России, их занятость, в том числе обучение, в период распространения коронавируса во многом определяются длительностью борьбы с ним. Они в свою очередь зависят от предпринимаемых совместных мероприятий, проводимых медицинскими и административными органами, а также принятием мероприятий населением местности, где эпидемия распространяется.

Механизм процесса заболевания коронавирусом, по утверждению специалистов здравоохранения, осуществляется за счет передачи вируса воздушно-капельным путем от человека к человеку при контактах

здоровой части населения с больной. У автора настоящей статьи, который не является специалистом в области медицины, нет сомнения, что специалисты этой области науки владеют знаниями и доступно для специалистов могут объяснить возникновение и распространение пандемии COVID-19.

Однако, так как пандемия затрагивает жизнь всего населения, которое состоит из жителей с разным уровнем подготовки к восприятию медицинской трактовки распространения эпидемии и степени влияния ее на здоровье людей, то медицинская трактовка не всегда удовлетворительно воспринимается населением.

Это наглядно подтверждают те «баталии», которые ведутся между специалистами разных областей знаний на телевидении и которые в большинстве случаев не приводят к единым взглядам на проводимые мероприятия как администрацией, так и медицинскими учреждениями.

Возникающие непонимания являются следствием разной трактовки участниками обсуждений эпидемии ключевых понятий и показателей, которые либо недоступны основной массе, либо не отражают суть протекающих процессов заражения. Ключевые понятия и показатели, а также характер их изменения во-времени должны быть понятны в первом приближении любому жителю региона. Именно характер изменения должен в едином времени моделироваться и отображаться средствами массовой информации для населения. Их роль должна быть направлена на понимание возможных последствий распространения эпидемии в случае невыполнения проводимых в регионе мероприятий.

Поэтому сегодня одной из актуальных задач, решение которой будет полезно для населения, специалистов в сфере здравоохранения и администраций регионов, является разработка методического аппарата для моделирования и прогнозирования по статистическим данным протекания заболевания и выздоровления населения.

Автор настоящей статьи, на примере моделирования и прогнозирования по статистическим данным динамики развития заболевания и лечения коронавируса в Санкт-Петербурге, предлагает путь проведения исследования прогнозных ключевых показателей. По их значениям и характеру изменения можно демонстрировать населению достижения санаторно-эпидемиологического режима или последствия его невыполнения.

Для этого предлагается акцентировать внимание населения на мероприятия, которые направлены на активное сопровождение и вмешательство в процессы заболевания коронавирусом, условно разделив их на два типа: административно-санитарные и лечебно-административные.

На административно-санитарных мероприятиях роль администраций заключается в недопущении, по крайней мере, на снижение, контактов здоровой части населения с больной, поскольку отсутствие контактов может быть самым эффективным способом снижения уровня заболеваемости населения. Роль медицинских работников должна быть направлена на выявление и направление заболевших коронавирусом в лечебные учреждения. Ключевыми показателями, деятельности как администрации, так и санитарной службы по этому направлению являются суммарное (интегральное) число заболевших с начала пандемии до момента ее оценивания и ежесуточный прирост заболевших (дифференциальная оценка).

Второй тип мероприятий связан с ролью лечащего медицинского персонала по сохранению жизни заболевших. При этом все необходимое медицинское обеспечение должно осуществляться руководящим и контролирующим составом администрации. Ключевыми показателями совместной деятельности медицины и администрации выступает суммарное (интегральное) число и число прироста (дифференциальное) выздоровевших жителей. Значимыми показателями являются также суммарное (интегральное) число и число прироста (дифференциальное) смертей.

Комплексными показателями, характеризующими оба типа мероприятий, являются суммарная и дифференциальная разности между соответствующими показателями, то есть число больных, находящихся в лечебных учреждениях и изолированных в домашних условиях. Допустимые уровни ключевых показателей должны совместно устанавливаться администрацией и медициной. Именно они должны определять ограничительные меры, вводимые для населения.

Исходными данными для моделирования и прогнозирования названных показателей должны выступать статистические данные, наблюдаемые в ходе развития эпидемии. В настоящее время координационными советами по борьбе с распространением COVID-19 в РФ проводится мониторинг числовых значений ключевых показателей как в целом по стране, так и по отдельным административно-территориальным регионам. Лица ответственные за борьбу с распространением коронавируса располагают, а затем и публикуют массивы статистических данных всех ключевых показателей, которые по своей сути являются временными (динамическими) рядами.

Следует отметить, что по мнению специалистов, эпидемия коронавируса может продлиться долго. Действительно, желание администраций восстановить экономику, заставляет их в регионах снимать ограничения, которые вводятся в процессе борьбы с коронавирусом, а,

следовательно, как снятие ограничений, так и сама природа вируса, могут приводить к возврату эпидемии.

Поэтому, для администраций регионов и специалистов в сфере здравоохранения требуется наличие такого методического аппарата моделирования и прогнозирования по статистическим данным, который способен отображать изменение протекания заболевания и выздоровления населения во времени.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ КОРОНАВИРУСА В ГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Как отмечалось, в работе на примере моделирования и прогнозирования показателей заражения и выздоровления рассмотрена динамика изменения ключевых показателей процесса развития коронавируса в городе Санкт-Петербурге.

В качестве математического аппарата использованы временные ряды (динамические ряды) и регрессионный анализ. При этом принято допущение, что ряды являются стационарными, соответственно их свойства не зависят от момента времени [1], [2]. Возможность такого допущения была подтверждена на основании построенных коррелограмм. Временные ряды для всех исследований формировались по статистическим данным, приводимым в [3].

Реализация, используемого аппарата, применительно к развивающейся эпидемии коронавируса в Санкт-Петербурге, выполнена с помощью ППП Excel, в основе которых положен метод наименьших квадратов. В качестве математических моделей использованы полиномиальные функции регрессии. Для построения моделей временные ряды формировались по статистическим данным количества зараженных, выздоровевших и больных [3], начиная с 45-х суток с начала эпидемии в стране (14.04.2020) и заканчивая 128-ми сутками (06.07.2020).

На Рис. 1 представлены опытные и теоретические значения зараженных, вылечившихся и больных жителей Санкт-Петербурга по данным на 08 июня 2020 года.

Из рисунка следует, что все суммарные ключевые показатели как опытные (наблюдаемые) значения, так и теоретические по кубической зависимости практически совпадают. Для оценки качества и установления адекватности модели суммарных значений использовался коэффициент детерминации. На Рис. 1 приведены коэффициенты детерминации, на основании которых можно заключить, что модели с высоким качеством объясняют кубическую зависимость. Величина коэффициента детерминации, как это следует из рисунка, составляет 0,98 и 0,99.

Другими словами, теснота связи между ключевыми показателями и порядковым номером суток составляет 98 % или 99 %, то есть связь практически детерминированная. Согласно моделей, прогнозируемое совпадение числа пораженных и выздоровевших жителей следовало ожидать на 127-е сутки при соблюдении установленного режима ограничения в городе.

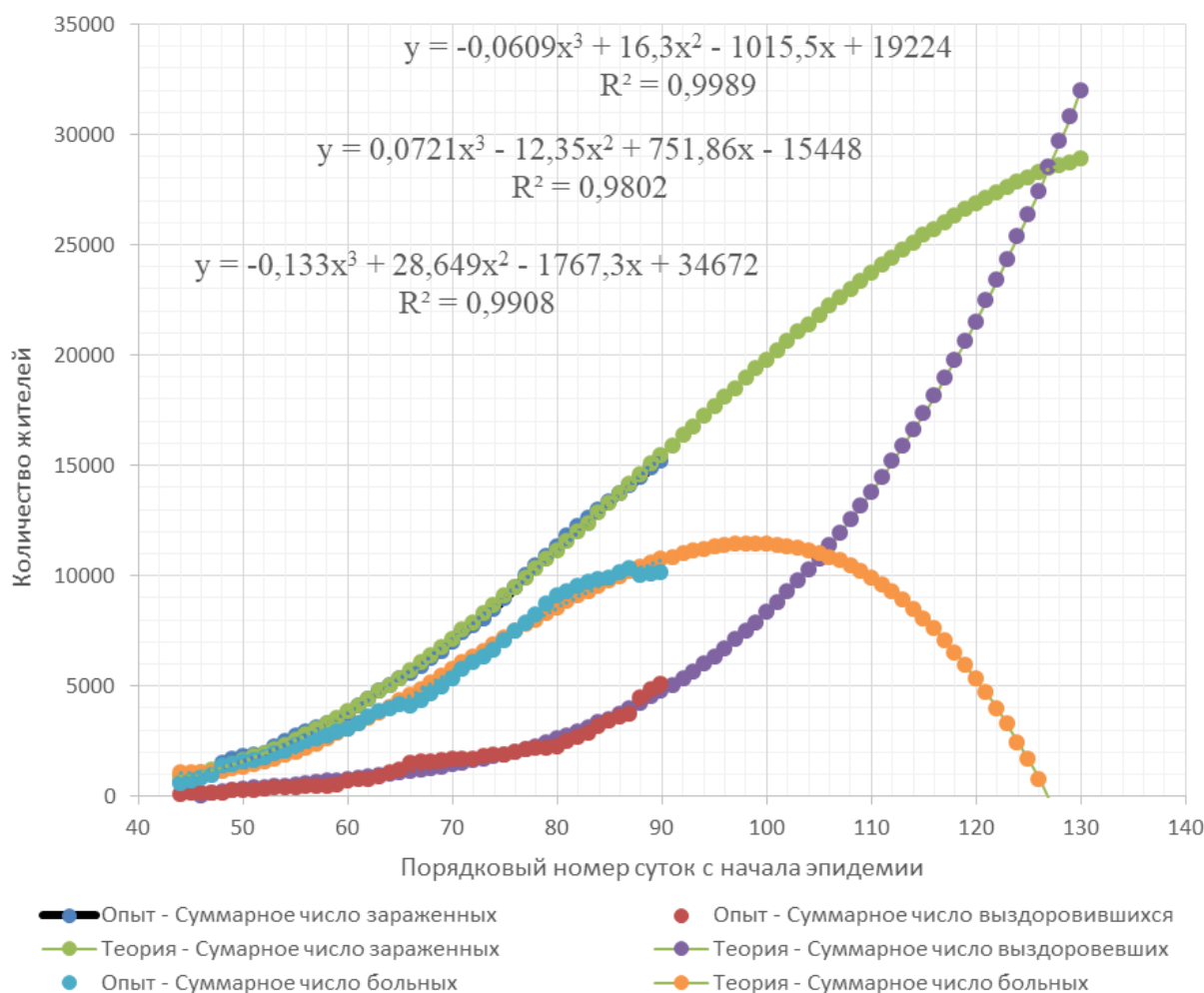


Рис. 1. Суммарные опытные и теоретические количества зараженных, выздоровевших и больных жителей Санкт-Петербурга за период с 14.04.2020 по 08.06.2020

Следует отметить, что все ключевые показатели и в дальнейшем сохраняли свои тенденции, за исключением числа пораженных. Как показали результаты обработки мониторинга, начиная с 115-х суток число зараженных стало более интенсивно расти по сравнению со значениями модели. Характер изменения видно на основании графиков (Рис. 2), построенных по моделям, которые использованы статистические данные за период 14.04.2020 по 06.07.2020.

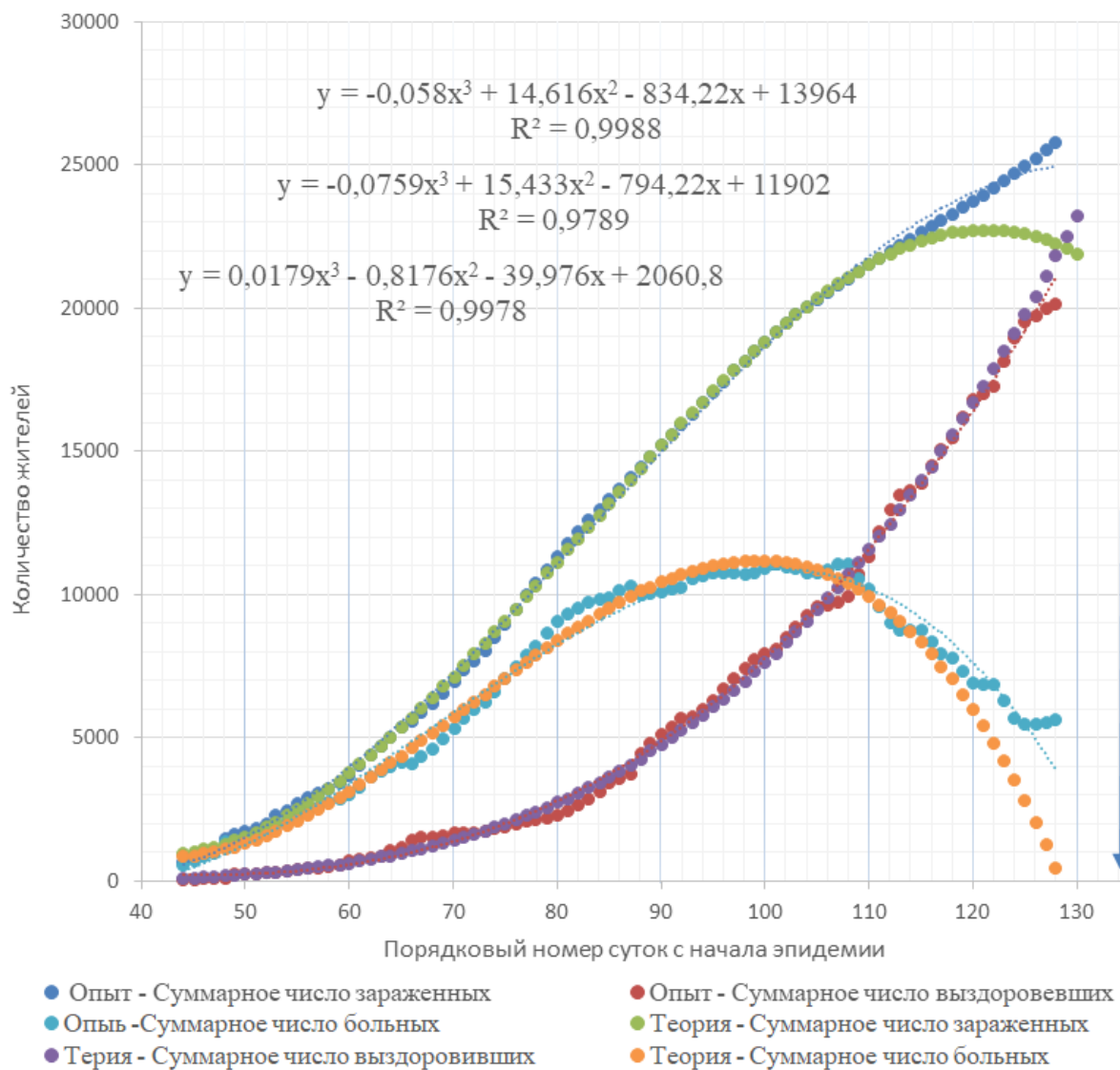


Рис. 2. Суммарные опытные и теоретические количества зараженных, выздоровевших и больных жителей Санкт-Петербурга за период с 14.04.2020 по 06.07.2020

Из рисунка следует, что теоретическая кривая зараженности, вплоть до 114-х суток, совпадает с опытным ростом показателя, а именно до максимального значения зараженности, после чего падает. Величину роста суммарной зараженности более четко можно наблюдать на основании графиков ежесуточного прироста зараженности (дифференциальный показатель), как это следует из Рис. 3.

На основании моделирования динамики суточного количества зараженных выявлено, что прогнозное значение роста зараженности, выполненное на 25-е мая (90-е сутки), как по квадратичной, так и по кубической моделям подтверждало приближение прироста к нулю на 126-е сутки.

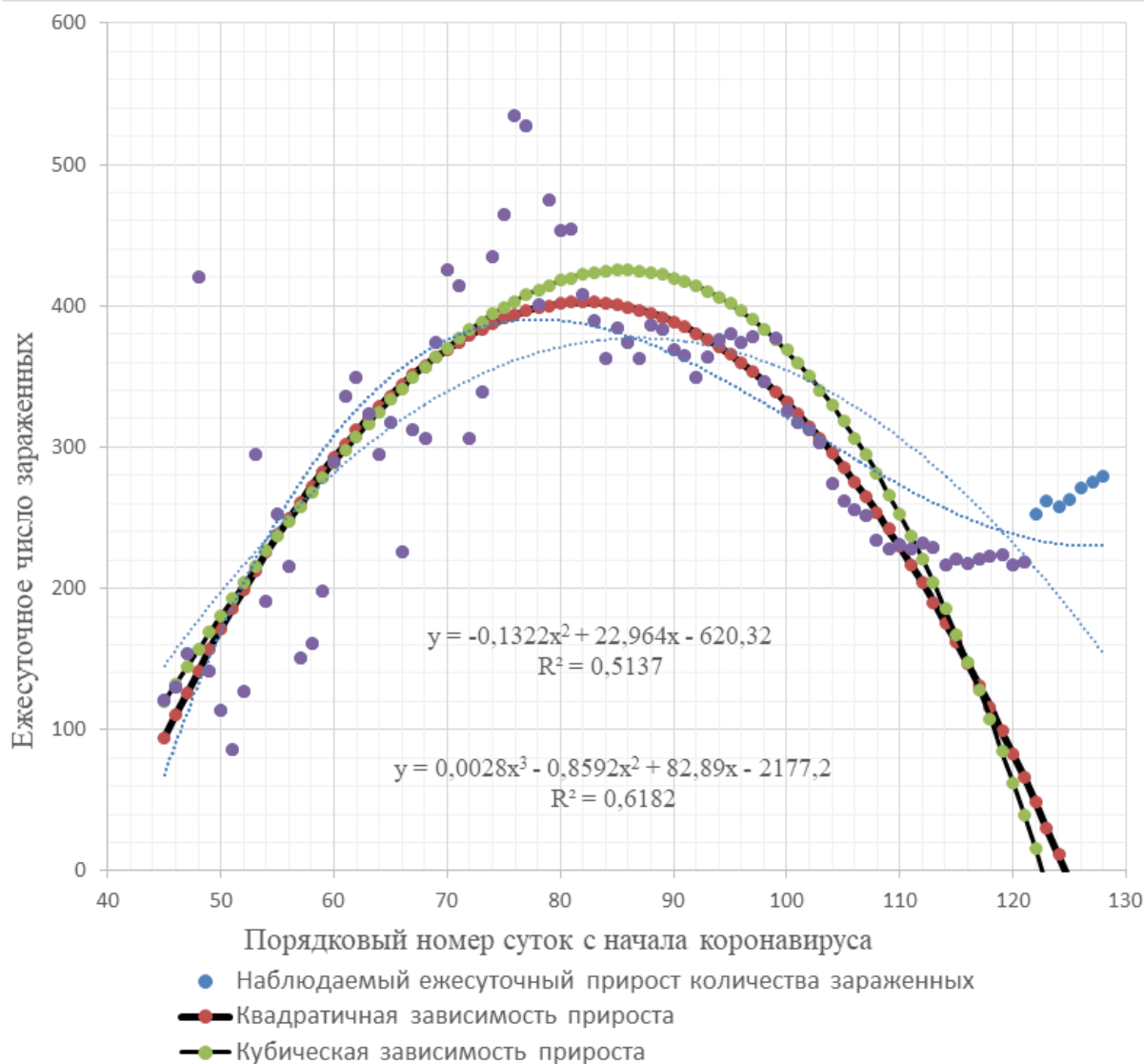


Рис. 3. Изменение прироста количества зараженных в сутки в Санкт-Петербурге в период с 14.04.2020 (40-е сутки) по 06.07.2020 (128-е сутки)

Из рисунка следует, что на 82-е сутки прирост достиг максимума (для него применяют по телевидению слово «плато») и в течении недели развитие проходило ритмично со снижением количества инфицированных. На 89-х сутках произошел небольшой скачок заболевания, после чего снова повторение снижения. Этот процесс повторялся несколько раз. Скорее причиной служило нарушение режима самоизоляции населения в праздничные дни.

Таким образом, изменение прироста числа зараженных в городе Санкт-Петербурге относительно качественно моделировалось до 114-и суток как квадратичной, так и кубической функциями регрессии, которые были построены по статистическим данным. С учетом отклонения реального хода динамики зараженности от модельного, построенного

на 28 июня, выполнено построение новой модели за временной период с 80-х до 128-х сутки (Рис. 4).

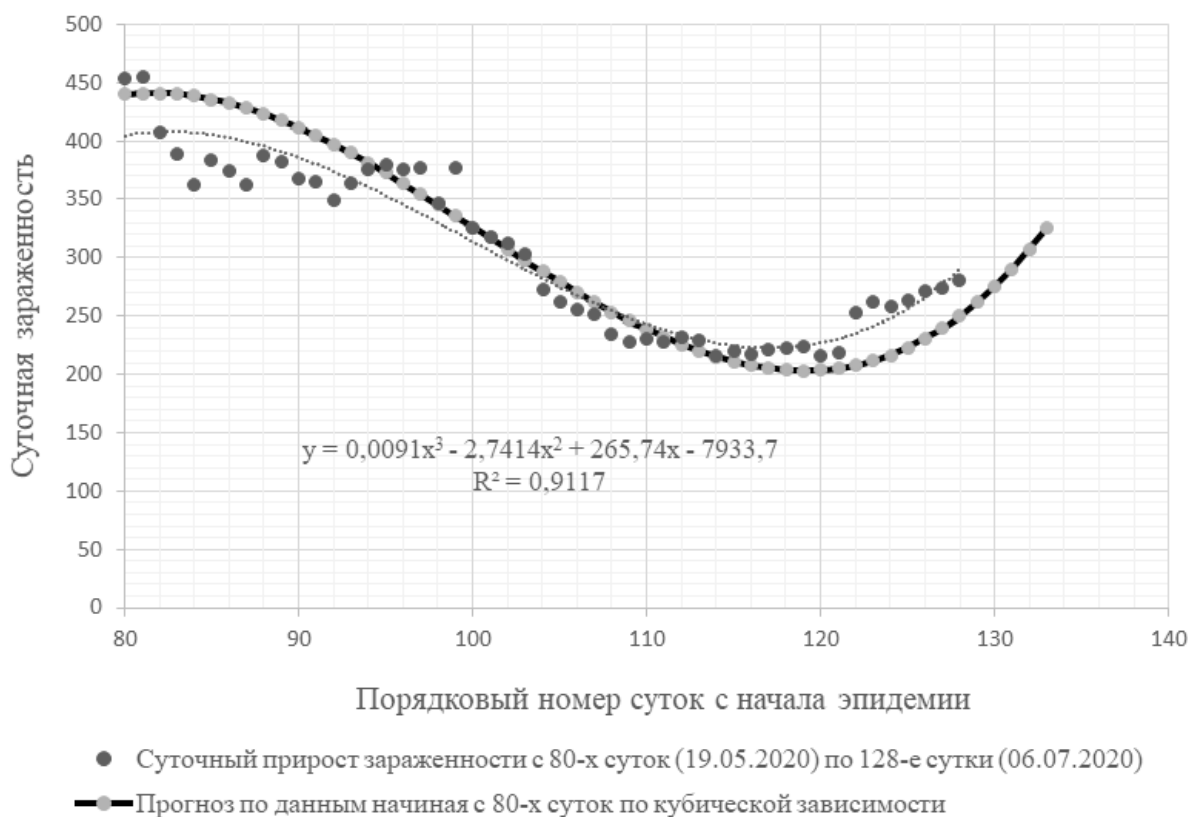


Рис. 4. Изменение количества зараженных в сутки в Санкт-Петербурге в период с 19.05.2020 (80-е сутки) по 06.07.2020 (128-е сутки)

График модели показывает, что выход на ноль зараженности в ближайшее время ожидать не следует. Ежесуточный прирост заболевания, начиная со 105-х суток, что соответствует дате 13-е июня, стабилизировался и держится на уровне 220–270 зараженных жителей. Такое развитие распространения коронавируса сместит прогнозную дату завершения заболевания коронавирусом. Ее установление требует дополнительных исследований дополняя новыми статистическими данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, административно-санитарные мероприятия, продолжая играть важную роль в жизни населения, требуют серьезного внимания и изучения. Правда, можно предположить, что при низкой смертности, даже при отсутствии средств лечения, экономика региона может требовать снятия ограничений, а, соответственно, ожидать

увеличение зараженности. Но в этом случае требуется тщательное отслеживание динамики ключевых показателей их развития, не допуская сильного увеличения. При низкой смертности населения это может по данным медицины иметь положительный эффект, поскольку будет обеспечивать одновременно иммунизированность (иммунизацию) населения.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Теория статистики: Учебник / Под ред. проф. Г.Л. Громько. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИРФА-М, 2006. – 476 с. [Gromyko GL, etditor. *Teoriya statistiki: Uchebnik*. Moscow: IRFRA-M; 2006. 476 p. (In Russ.)].
2. Герасименко П.В., Ходаковский В.А. Введение в эконометрику. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2005. – 60 с. [Gerasimenko PV, Hodakovskij VA. *Vvedenie v ekonometriku*. St. Petersburg: PGUPS; 2005. 60 p. (In Russ.)].
3. Коронавирус онлайн. [Koronavirus onlajn [Internet] (In Russ.)]. Доступно по: <https://coronavirus-tracking.ru/sankt-peterburg>. Ссылка активна на: 20.10.2020.

Сведения об авторе:

Герасименко Петр Васильевич, доктор технических наук, профессор;
адрес: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9;
eLibrary authorID: 524983; ORCID: 0000-0002-7546-661X; Scopus Author ID: 7005769656
E-mail: pv39@mail.ru

Information about the author:

Petr V. Gerasimenko, Doctor of Technical Sciences, Professor;
eLibrary authorID: 524983; ORCID: 0000-0002-7546-661X; Scopus Author ID: 7005769656
E-mail: pv39@mail.ru

Цитировать:

Герасименко П.В. Моделирование и прогнозирование показателей динамики заболевания жителей регионов коронавирусом COVID-19 // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 88–97. doi: 10.17816/transsyst20206488-97

To cite this article:

Gerasimenko PV. Modeling and Prediction of Indicators of Dynamics of Diseases of Residents of Regions Coronavirus COVID-19. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):88-97. doi: 10.17816/transsyst20206488-97

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.4

DOI 10.17816/transsyst20206498-112

© Л. М. Чеченова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ИНТЕРМОДАЛЬНЫЕ КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ В ПЕРИОД ПАНДЕМИЧЕСКОГО КРИЗИСА

Обоснование: Наступающий период выхода мировой экономики из первой стадии пандемийного кризиса серьезно изменит ситуацию на в грузовом и пассажирском сегменте. По оценке текущей ситуации, на глобальном рынке отмечается нарушение привычных связей между производителями и потребителями, дисбаланс транспортных потоков, связанный с изменениями спроса. При этом, в условиях кризиса контейнерные грузоперевозки железнодорожным транспортом являются основным инструментом, т.к. значительное количество противозидемических средств защиты из Китая перевозилась именно поездами. Понятно, что в ближайшей перспективе динамика рынка зависит, прежде всего, от дальнейшего развития событий и мерами господдержки отраслей и бизнеса.

Цель: оценка факторов кризисной экономики, а также анализ и оценка инвестиционной привлекательности транспортных организаций, осуществляющих интермодальные контейнерные грузоперевозки на примере крупнейшего в России оператора.

Методы: для достижения поставленной цели были использованы стандартные методы научного исследования: теоретические, экспериментальные; комплексные методы анализа и оценки бизнес-процессов, методы качественного и количественного анализа данных.

Результаты: систематизированы факторы, существенно меняющие модель перевозочного бизнеса; проведен анализ потерь доходов компаний в результате кризисной ситуации на рынке; представлена методика оценки инвестиционной привлекательности крупнейшего российского контейнерного оператора на базе комплексного использования бухгалтерского подхода и рейтингового метода оценки; предложена аналитическая карта повышения инвестиционной привлекательности с обоснованными мероприятиями в виде блоков по постановке целевых планов организации, бизнес-модели контейнерных перевозок, дорожной карте и прогнозным результатам.

Ключевые слова: пандемийная экономика, контейнерные грузоперевозки, железнодорожный транспорт.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© **Liana M. Chechenova**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

INCREASING THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF TRANSPORT ORGANIZATIONS ENGAGED IN INTERMODAL CONTAINER TRANSPORT DURING THE PANDEMIC CRISIS

Background: The coming period of the world economy's recovery from the first stage of the pandemic crisis will seriously change the situation in the cargo and passenger segment. According to the current situation, the global market is marked by a violation of the usual links between producers and consumers, an imbalance in transport flows associated with changes in demand. At the same time, during the crisis, container cargo transportation by rail is the main tool, since a significant amount of anti-epidemic protection equipment from China was transported by trains. It is clear that in the near future, the market dynamics depends primarily on further developments and measures of state support for industries and businesses.

Aim: assessment of factors of the crisis economy, as well as analysis and evaluation of investment attractiveness of transport organizations engaged in intermodal container cargo transportation on the example of the largest operator in Russia.

Methods: to achieve this goal, standard research methods were used: theoretical, experimental; complex methods of analysis and evaluation of business processes, methods of qualitative and quantitative data analysis.

Results: systematize factors that significantly changes the model of the transportation business; analyze the loss of earnings as the result of a crisis situation on the market; given the method of evaluating the investment attractiveness of the largest Russian container operator on the basis of complex use of accounting approach and rating method of evaluation; introduced an analytical map of improvement of investment attractiveness with reasonable measures in the form of blocks for formulation of the plans of the organization, the business model of container transport, road map and forecasting results.

Key words: pandemic economy, container freight, rail transport.

ВВЕДЕНИЕ

Период пандемийной экономики существенно изменил ситуацию на национальных и глобальных рынках ввиду сокращения объемов производства и реализации, перераспределения производственных сил, что связано с закрытием границ между государствами, введением режима самоизоляции, сокращением спроса и покупательной способности, а также неопределенностью, присущей всем участникам рынка. Понятно, что для логистических бизнес-единиц не существует четких правил поведения в данной ситуации. Тем не менее, ряд стран перешагнули существующую проблему и восстановили частично объемы грузоперевозок. В результате

введенных ограничений, смещение транспортных грузопотоков произошло в пользу железнодорожного (ЖД) транспорта [1]. К примеру, 90 % китайских производителей к середине 2020 г. работали в полную силу, осуществляя поставки в Европу и Россию, увеличив объемы грузоперевозок ЖД сообщением.

По прогнозам экспертов, ожидается сокращение объемов перевозимых грузов минимум на 40 %, несмотря на введение таможенного режима «зеленого коридора», активного использования фидерных сервисов для контейнерных перевозок «Port-to-Port» и прочих мероприятий, направленных на нормализацию торговых процессов. В результате экономических последствий эпидемии, транспортная услуга претерпевает вынужденную трансформацию, и переход на новые виды цифровых возможностей является скорее необходимостью [2, 3]. Компании, которые не могут себе позволить существенную реорганизацию бизнеса с использованием цифровых сервисов, будут вынуждены сокращать объемы работ или покинут рынок. Основные причины, позволившие нам сделать данные предположения, связаны с тем, что:

- потери доходов компаний, занятых созданием / эксплуатацией транспортной инфраструктуры к середине 2020 г. превысили 500 млрд руб. (Рис. 1) [4];

- потери выручки транспортных компаний к середине 2020 г. составили от 3 до 19 % (Рис. 2) [4];

- геополитика трансформируется с учетом тенденций будущего развития: введения санкционных мер, перемены международных экономических отношений, изменения таможенных правил и пр. [5].

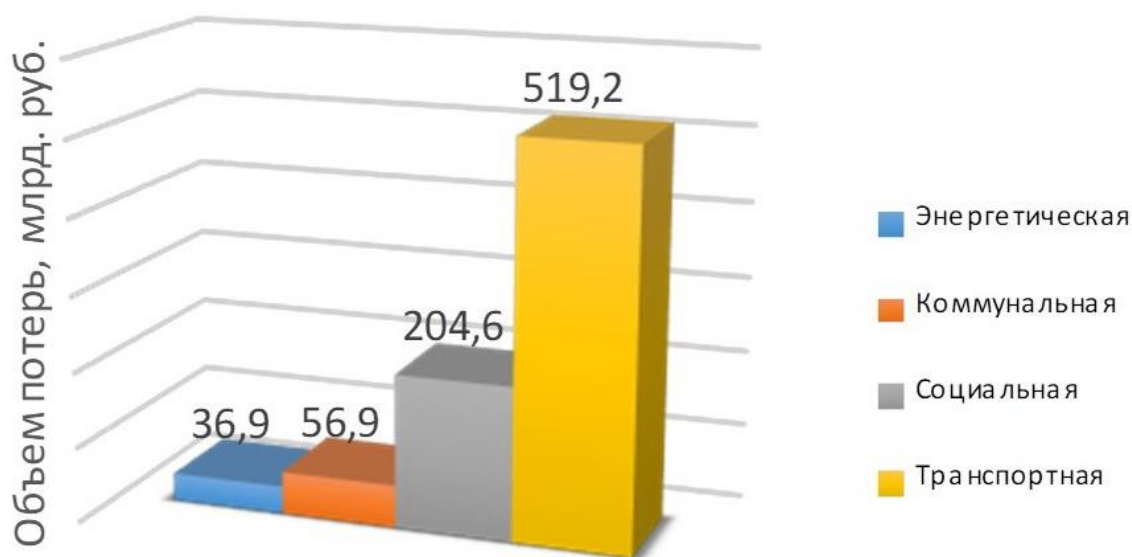


Рис. 1. Распределение потерь доходов компаний по видам инфраструктуры



Рис. 2. Распределение потерь в транспортной инфраструктуре

Таким образом, компании вынуждены пересматривать свои бизнес-ориентиры и возможности, поскольку работа в докризисном формате невозможна [6]. Следовательно, необходимость анализа и оценки инвестиционной привлекательности транспортных организаций, осуществляющих интермодальные контейнерные перевозки, является очевидной.

МЕТОДОЛОГИЯ

Основная миссия организации-грузоперевозчика – эффективное содействие бизнесу клиентов: быстро, надежно и комплексно решать задачи по логистике и доставке грузов. При выборе методики оценки инвестиционной привлекательности, основная цель инвестора - получение достоверной информации о компании.

Объектом данного исследования является ПАО «Центр перевозок грузов в контейнерах «ТрансКонтейнер»» (далее – ПАО «ТрансКонтейнер») – крупнейший в России интермодальный контейнерный оператор с широкой сетью собственных терминалов, совместных организаций, зарубежных представительств и агентов, а также широким спектром регулярных контейнерных сервисов, который оперирует крупнейшим парком контейнеров и фитинговых платформ в России (Рис. 3) [7].



Рис. 3. Доля ПАО "Трансконтейнер" на рынке ЖД-контейнерных перевозок за 2019 г.

Предметом исследования является предложенная нами методика оценки инвестиционной привлекательности ПАО «ТрансКонтейнер» на базе комплексного использования бухгалтерского подхода и рейтингового метода оценки.

1. Применение бухгалтерского подхода позволяет получить наиболее достоверные данные о компании, так как он включает анализ наиболее значимых финансово-экономических показателей хозяйственной деятельности организации (Рис. 4) [8].



Рис. 4. Динамика основных финансовых показателей за 2016-2019 гг.

В основе представленного подхода лежит принцип оптимизации баланса компании, который предполагает структурирование источников финансирования и направлений их использования. В Табл. 1 приведены результаты расчета показателей финансовой устойчивости за 2016-2019 гг., на основании которых можно сделать следующие выводы:

Таблица 1. Показатели ликвидности и финансовой устойчивости

Показатели финансовой устойчивости	Годы			
	2016	2017	2018	2019
Доля собственного капитала в общей сумме пассивов компании	0,69	0,72	0,66	0,57
$K_{\text{автономии}}$	0,46	0,39	0,51	0,57
Коэффициент финансирования	2,19	2,54	1,96	1,33
Коэффициент инвестирования	0,87	0,89	0,89	0,74
$K_{\text{маневренности}}$	0,06	0,03	0,16	0,10
Доля собственных источников в финансировании оборотного капитала компании	0,2	0,13	0,4	0,23

Составлено автором на основе данных источника [8]

- компания способна погашать краткосрочные обязательства за счет использования оборотного капитала, денежных средств и дебиторской задолженности;
- наблюдается положительная динамика роста финансовой устойчивости – темпы роста собственного капитала не превышают темпов роста общей суммы пассивов;
- структура источников финансирования компании – надежна, поскольку доля собственного капитала составляет более 60 %.

Анализ структуры баланса, проведенный с помощью расчета коэффициентов инвестирования, маневренности и доли собственных источников в финансировании, говорит о том, что собственные источники примерно на 90 % покрывает постоянные активы, при этом доля собственного капитала, направляемая на финансирование оборотных активов, увеличивается с 3 % в 2016 году до 17 % в 2019 году. Доля собственных источников в финансировании оборотного капитала компании растет с 13 % до 40 %, что подтверждает том, что доля собственного капитала, направляемая на финансирование оборотных наш вывод о финансовой устойчивости компании.

2. Проводя анализ инвестиционной привлекательности ПАО «Трансконтейнер» рейтинговым методом, на первом этапе для каждого коэффициента устанавливаем группу и балл, далее производим расчет общей суммы баллов (Табл. 2).

Таблица 2. Результаты расчета общей суммы баллов

Показатели	2016	2017	2018	2019
Коэффициент абсолютной ликвидности (К1)	1,00	1,00	1,00	1,00
Коэффициент срочной ликвидности (К2)	2,00	1,50	2,00	1,00
Коэффициент текущей ликвидности (К3)	1,50	1,00	1,50	0,50
Коэффициент финансовой независимости (К4)	2,25	3,00	2,25	2,50
Рентабельность продаж (К5)	0,75	0,75	0,75	0,75
Рентабельность собственного капитала (К6)	2,00	2,00	2,00	2,00
Рентабельность активов (К7)	1,50	2,00	2,00	2,00
Соотношение дебиторской и кредиторской задолженности (К8)	0,25	0,25	0,25	0,25
Соотношение оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженности (К9)	0,00	0,00	0,00	0,00
Соотношение роста прибыли до вычета расходов по процентам, уплаты налогов и амортизации (ЕБИТДА) к росту выручки (К10)	1,00	1,00	1,00	1,00
Итого сумма баллов	12,25	12,50	12,75	11,00

Составлено автором на основе данных источника [8]

По результатам расчета общей суммы баллов видим, что ПАО «Трансконтейнер» имеет положительную динамику развития, а также среднее значение уровня риска. Далее необходимо определить рейтинг финансового состояния компании путем установки соответствующих весов показателям, используемым при расчете (Табл. 3).

Таблица 3. Результаты расчета показателей финансового анализа

Показатели	2016	2017	2018	2019
Коэффициенты ликвидности				
Коэффициент текущей ликвидности (К1)	1,25	1,12	1,67	0,58
Коэффициент срочной ликвидности (К2)	1,01	0,81	1,37	0,65
Коэффициент абсолютной ликвидности (К3)	0,62	0,4	0,92	0,61
Коэффициенты финансовой устойчивости				
Коэффициент финансовой независимости (К4)	0,69	0,72	0,66	0,57
Показатели рентабельности, %				
Рентабельность продаж (К5)	7,09	11,54	14,10	14,00
Рентабельность собственного капитала (К6)	8,10	14,60	21,20	26,00
Рентабельность активов (К7)	5,6	10,5	14,0	16,00
Коэффициенты деловой активности				
Соотношение дебиторской и кредиторской задолженности (К8)	0,72	0,56	0,56	0,59
Соотношение оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженности (К9)	-1,22	-1,53	-1,62	-1,68
Прочие коэффициенты				
Соотношение роста прибыли до вычета расходов по процентам, уплаты налогов и амортизации (ЕБИТДА) к росту выручки (К10)	1,14	1,07	1,02	1,00

Собственная разработка автора на основе результатов исследования

Полученные результаты свидетельствуют о том, что:

- финансовое состояние компании можно назвать удовлетворительным – общий балл по рейтингу на протяжении 4 лет составляет от 11,75 до 12,75, что входит в диапазон группы с удовлетворительным финансовым состоянием;
- наибольшую долю активов составляют постоянные активы (78-85 %) за счет преобладания основных средств, что является спецификой отрасли. В текущих активах более 50 % занимают дебиторская задолженность и денежные средства;
- возможно погашение краткосрочных обязательств за счет использования оборотного капитала (значение коэффициента срочной ликвидности в 2019 г. – 1,37) и денежных средств - (значение коэффициента абсолютной ликвидности в 2019 г. – 0,92)
- отмечен высокий уровень финансовой устойчивости, поскольку по итогам 2019 г. доля собственного капитала в общей сумме пассивов составляет 66 %.

По итогам анализа финансового состояния и финансовых результатов компанию можно охарактеризовать как стабильно развивающуюся на протяжении исследуемого периода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Очевидно, что глобальные изменения товарного рынка коснулись и России, которая успешно конкурирует с мировыми контейнерными операторами посредством существующей железнодорожной транспортной системы, которая сохраняет скорость доставки и не сильно варьирует по стоимости перевозки [9]. За девять месяцев 2020 г. железнодорожный контейнерооборот в России вырос на 15,7 % к прошлогоднему уровню, до 4,23 млн TEU. Из них груженых контейнеров перевезено 2,87 млн TEU (на 17,2 % больше), а общий объем перевезенных грузов в контейнерах увеличился на 17,3 %, превысив 44 млн тонн. Транзит контейнеров по российским железным дорогам за тот же период вырос почти на 50 %, до 521,6 тыс. TEU, в том числе в сообщении Китай—Европа—Китай — на 60 %, до 387,9 тыс. TEU (рост в сентябре — 80 %) [10].

На сегодняшний день стало очевидным, что существенное влияние на мировые товарные рынки оказывают Азиатские страны, которые способны быстро реагировать на изменения спроса, трансформировать транспортную логистику с конкурентоспособными потоками, а также предоставлять цифровые сервисы, ориентированные на новую номенклатуру грузоперевозок [11]. Это подтверждается аналитическими данными Container Trade Statistics, согласно которым в августе 2020 г. наблюдается прирост объемов импорта из стран Азии на 12 %, что

приводит к увеличению контейнерных перевозок на 1,5 % по сравнению с прошлым годом за аналогичный период.

Таблица 4. Аналитическая карта повышения инвестиционной привлекательности ПАО «Трансконтейнер»

Целевые планы			
Миссия		Стратегическая цель	
эффективно содействовать бизнесу клиентов: быстро, надежно и комплексно решая их задачи по логистике и доставке грузов в контейнерах		увеличение стоимости Компании за счет роста масштабов и эффективности развития бизнеса	
Бизнес-модель контейнерных перевозок			
Комплексные экспедиторские и логистические услуги	Железнодорожные контейнерные перевозки	Терминальные и агентские услуги, услуги СВХ	Клиентское обслуживание
↓	↓	↓	↓
Дорожная карта			
Трансформация услуги. Внедрение интеллектуальных электронных пломб	Внедрение новейших интеллектуальных систем	Повышение скорости и ритмичности продвижения партий грузов. Снижение времени обработки партий грузов в терминальной сети	Повышение доступности транспортных услуг; развитие IT технологий в области клиентского обслуживания
↓	↓	↓	↓
Прогнозный результат			
Повышение уровня лояльности клиентов более чем на 10 %	Обеспечение роста производительности парка подвижного состава более чем на 30 % к уровню 2016 г. Лидерские позиции в тройке лидеров по объему перевозок в танк-контейнерах	Обеспечение роста производительности труда более чем на 60 % к уровню 2016 г.	Лидерские позиции в сегменте железнодорожных контейнерных перевозок на всем стандарте колеи 1520 мм

Составлено автором на основе данных источника [8]

Таким образом, наблюдается необходимость пересмотра бизнес-моделей операторов грузоперевозчиков в направлении расширения технологического потенциала с ориентацией на оказание конкурентоспособной услуги и с учетом оптимизации расходов. Целевая бизнес-модель ПАО «Трансконтейнер» представляет собой вертикально интегрированный транспортнологистический холдинг, который является как перевозчиком контейнерных грузов, так и поставщиком отдельных логистических услуг на территории евразийского континента. Для

решения задачи по оценке инвестиционной привлекательности компании предлагается аналитическая карта с обоснованными мероприятиями в виде блоков по постановке целевых планов организации, бизнес-модели контейнерных перевозок, дорожной карте и прогнозным результатам (Табл. 4).

Представленные блоки аналитической карты подвержены максимальному влиянию со стороны гравитации товарных рынков, смены ценностных предпочтений грузоотправителя и пассажира, появления новых видов конкуренции на транспортных рынках. Систематизация блоков дает возможность формирования следующих предположений в части развития компании по видам деятельности.

1. Повышение уровня качества контейнерных перевозок. Можно утверждать, что ПАО «Трансконтейнер» имеет положительную динамику развития в области клиентоориентированности, предлагая удобную и простую в обращении услугу, несмотря на внедрение и использование цифровых технологий. Компания использует электронные пломбы «Сириус» в составе системы контроля над транзитными перевозками «Глонасс-Транзит», что дает возможность отследить исключительно местонахождение груза. При ежегодном повышении количества перевозок, необходимо обеспечить внедрение электронных пломб – ридеров. Этот программно-аппаратный комплекс включает в себя пломбу и пишущее-считывающее устройство, которое позволит клиенту получить информацию во время транспортировки груза и после, что обеспечивает дополнительную защиту от возможных рисков.

2. Внедрение новейших интеллектуальных систем. Для автоматизации процесса транспортировки грузов в части фитинговых платформ и контейнеров рекомендуется внедрение интеллектуальных систем с использованием информационных и телекоммуникационных технологий в колесные пары фитинговых платформ и оборудование для обнаружения нарушений и неисправностей в работе, а для контейнеров – оборудование для обнаружения повреждений или пропажи. Соответственно, повышается качество работы железнодорожных контейнерных перевозок и увеличивается их надежность.

3. Повышение эффективности работы терминального сектора. Компании рекомендуется дальнейшее развитие сети терминалов в главных транспортных узлах, оптимизация терминального бизнеса с низким уровнем загрузки, увеличение эффективности терминального сектора, в том числе за счет внедрения IT-систем по управлению терминалами и грузоподъемной техникой. Такая кампания увеличит производительность труда не менее, чем на 35 % к уровню 2016 г.

4. Модернизация системы продаж и клиентского сервиса. В настоящее время компания работает на базе онлайн-сервиса «iSales», с

помощью которого отправитель груза совершает заказ на сайте. На основе анализа основных клиентов и содержания основных пунктов договорных условий для клиентов, можно утверждать, что компания работает по принципу B2B (Business to Business) [12]. Для увеличения доходных поступлений в части реализации данного мероприятия необходимо увеличить доступность транспортной услуги, развивать онлайн услуги, связанные с грузовой транспортировкой и IT-продуктами, а также IT-технологии в области обслуживания клиентов (CRM). В качестве примера, можно рассматривать услугу отслеживания целостности грузов во время перевозки, что ведет к недопущению спорных ситуаций при выдаче груза клиенту. При этом, в ближайшей перспективе железные дороги планируют своевременно отслеживать пути, на которых есть запас пропускной способности в отдельные промежутки времени и извлекать финансовую выгоду от них на специальных интернет-аукционах. Соответственно, у отправителей грузов появляется дополнительная возможность сократить затраты в периоды недозагрузки, тем самым позволив оптимизировать издержки производства и снизить окончательную цену товара с учётом доставки. Эта процедура позволит увеличить производительность парка подвижного состава минимум на 28 % к уровню 2016 г.

Следует подчеркнуть, что давать однозначные прогнозы на будущее по изменению ситуации на товарных рынках пока не представляется возможным. Тем не менее, экономический эффект от реализации предложенных мероприятий возможен уже в ближайший год. Это позволит ПАО «Трансконтейнер»:

- закрепить лидерскую позицию в секторе контейнерных перевозок на железных дорогах, который обеспечивает сетевое покрытие и доступность транспорта на всем пространстве колеи стандарта 1520 м,
- войти в тройку лидеров по количеству перевозок в контейнерах специального назначения, в первую очередь, в танк-контейнерах,
- твердо закрепить рентабельность по чистой прибыли и EBITDA к скорректированной выручке на уровне не ниже 20 % и 40 % соответственно,
- твердо закрепить рентабельность капитала компании на уровне не ниже 15 %.

ДИСКУССИЯ

Результаты данного исследования имеют прямое отношение к эффективной оценке бизнес-процессов по грузоперевозкам организациями, осуществляющими контейнерные перевозки, в период пандемийного кризиса. Представленная карта повышения инвестиционной привлекательности является вектором развития для интермодального

перевозчика грузов в ближайшем будущем, несмотря на вторую волну пандемийного кризиса.

Мультимодальность – всеобщий тренд в логистике грузов и пассажиров, и ее экономическая оценка излагается с разных сторон. В частности, в статье Е.М. Волковой предлагается подход к оценке сокращения времени в пути, что расширяет наше представление относительно существующих оценочных мероприятий [13].

Дискуссии по проблемам оценки мультимодальных перевозок, а также вопросы по факторам, сдерживающим их эффективное развитие, представлены во множестве исследований. К примеру, в работе китайских ученых представлена система индексов оценки развития мультимодальных перевозок в Китае, модель оценки и возможности оценки конкретных сценариев на базе морских и ЖД перевозок [14]. Исследование соответствует логике нашего исследования в части ориентира при разработке планов и реализации инвестиционной политики.

Наши предположения относительно мероприятий по повышению инвестиционной привлекательности контейнерного оператора подтверждаются исследованиями следующих авторов: D.D. Chen, Y. Zhang, L.P. Gao, R.G. Thompson. Результатом их работы является оптимизация маршрутов мультимодальных контейнерных перевозок ЖД транспортом с разработкой прогнозного плана, реализующего оптимальный баланс между временем и затратами на транспортировку груза [15].

Рассматривая результаты оптимизации грузопотоков на базе контейнерных перевозок, находим подтверждение перспективам развития, предлагаемой нами прогнозной карты. В частности, авторы предлагают модифицировать систему сбора и распределения данных на базе управления цепочками поставок [16].

Основные характеристики многоцелевой оптимизационной модели минимизации совокупных затрат в процессе транспортировки грузов посредством ЖД контейнерами, а также доказанная универсальность использования алгоритма, могут существенно расширить вектор нашего исследования [17].

На наш взгляд, последствия пандемии относительно грузоперевозок контейнерными операторами следует рассматривать также в направлении смещения номенклатурных позиций товарных рынков. Например, актуальность приобретает анализ ситуации на рынке углеводородов, нестабильности коммуникационных межрыночных связей, колебания цен на финансовых рынках и пр. аспекты [18]. Все это свидетельствует об актуальности данной темы и, тем самым, побуждает нас продолжать исследовать ее как сигнал к стратегическому согласованию экономики и потребностей рынка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка инвестиционной привлекательности является значимой не только для инвесторов, но и для организации с целью прогнозирования перспектив развития, эффективного управления инвестиционными потоками с учетом нестабильности существующей экономической действительности. Результаты проведенного нами исследования являются частью сложного процесса оптимизации оценки, так как реализация инвестиционных проектов и подготовка компаний к привлечению инвестиций в период мирового кризиса является достаточно сложным процессом. Необходимым условием, на наш взгляд, является формирование программы мероприятий для повышения инвестиционной привлекательности, исходя из своих особенностей и сложившейся ситуации на товарном рынке. Реализация данных мер поможет компании ускорить привлечение финансовых ресурсов и повысить эффективность её деятельности.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Чеченова Л.М. Специфика инвестиционных проектов развития, реализуемых на железнодорожном транспорте / Сборник научных статей международной научно.-практической конференции «Управление проектами в новых реалиях». 3 июня 2020 года; СПб. Под ред. Журавлевой Н.А. – СПб.: ООО «ИНСЭИ – оценка», 2020. – С. 108–115. [Chechenova LM. Specifica investicionnih proektov razvitiya, realizuemih na jeleznodorozhnom transporte In: Zhuravleva NA, aditor. Collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference “Upravlenie proectami v novih realiyah”. 2020 Jun 3; St. Petersburg. SPb: “INCEI-ocenka”; 2020. p. 108-115. (In Russ.)].
2. Тращенко К.С., Гулый И.М. Анализ индикаторов развития цифровой экономики в регионах, транспортном комплексе и российских железных дорогах / Материалы научной конференции с международным участием «Неделя науки СПбПУ». 19-24 ноября 2018 года; СПб. – СПб.: СПбПУ, 2018. – С. 308–311. [Trashenko KS, Gulii IM. Analis indikatorov razvitiya cifrovoi ekonomiki v regionah, transportnom komplekse I rossiskih jeleznihi dorogah. Materials of the International Scientific Conference with international participation “Nedelya nauki SPbPU”. 2018 Nov 19-24; St. Petersburg. SPb: SPbPU; 2018. p. 308-311. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36678732>. Ссылка активна на 01.12.2020.
3. Журавлева Н.А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 3(82). – С. 19–22. [Zhuravleva NA. Problems of introduction of digital technologies in transport. *Transport Rossiskoi Federacii*. 2019;3(82):19-22. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39448030>. Ссылка активна на 01.12.2020.
4. Аналитический отчет «InfraOne Research» № 9(33), 21.04 – 08.05.2020. [Analiticeskii

- otchet «InfraOne Research» № 9 (33), 21.04 – 08.05.2020. (In Russ.)). Доступно по: https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/infraone_research_weekly_09_33_08_052020.pdf. Ссылка активна на 01.12.2020.
5. Журавлева Н.А. Влияние постпандемической экономики на бизнес-модель транспортных организаций // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 34 (88-89). – С. 20–23. [Zhuravleva NA. Influence of the post-pandemic economy on transport organizations' business model. *Transport Rossiiskoi Federacii*. 2020;3-4(88-89):20-23. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43909967>. Ссылка активна на 01.12.2020.
 6. Житинев П.Ю., Журавлева Н.А. Анализ влияния постпандемического кризиса на рынок железнодорожных перевозок нефтеналивных грузов // Экономические науки. – 2020. – № 189. – С. 28–36. [Jitinev PU, Zhuravleva NA. Analysis of the impact of the post-pandemic crisis on the market for rail transportation of oil cargo. *Economicheskije nauki*. 2020;3-4189:28-36. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43886254>. doi: 10.14451/1.189.28. Ссылка активна на 01.12.2020.
 7. Годовой отчет ПАО «Трансконтейнер» за 2019 г. [Godovoi otchet PJSC “TransContainer” za 2019 g. (In Russ.)). Доступно по: <https://trcont.com/investor-relations/reporting/annual-reports>. Ссылка активна на 03.12.2020.
 8. Бухгалтерская (финансовая) отчетность и Аудиторское заключение ПАО «Трансконтейнер» за 2016 – 2019 гг. [Buhgalterskaya (finansovaya) otchetnost' i Auditorskoe zakluchenie PJSC “TransContainer” za 2016-2019 gg. (In Russ.)). Доступно по: <https://trcont.com/investor-relations/reporting/financial-reports-under-ras>. Ссылка активна на 03.12.2020.
 9. Лашков А.А., Мансуров О.В., Казанская Л.Ф. Современные тенденции и перспективы развития контейнерных перевозок в России / Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, молодых учёных и специалистов «Тенденции развития транспортной отрасли региона 2019». 26-29 апреля 2019 года; Тула. Под ред. Анцева В.Ю. – Тула: ТГУ, 2019. – С. 58–69. [Lashkov AA, Mansurov OV, Kazanskaya LF. Sovremennye tendencii i perspective razvitiya konteinernih perevozok v Rossii. Ancev VU, aditor. In Materials of the III Russian Scientific and Practical Conference of students, young scientists and specialists “Tendencii razvitiya transportnoi otrasli regiona 2019”. 2019 Apr 26-29; Tula. Tula: TGU; 2019. p. 58-69. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42550307>. Ссылка активна на 01.12.2020.
 10. Скорлыгина Н., Правительство загрузилось вагонами // Газета «Коммерсантъ». 20 октября, 2020. – № 192. [Skorligina N. The government is loaded with wagons. *Gazeta “Kommersant”*. 2020 Oct 20:(192). (In Russ.)).
 11. Гулый И.М. Опыт и перспективы применения технологий распределенного реестра (Blockchain) в транспортных системах / Материалы VIII международной научно-практической конференции «Стратегия и тактика реализации социально-экономических реформ: региональный аспект». 12-14 декабря 2018 года; Вологда. – Вологда: Вологодский научный центр РАН, 2019. – С. 370–375. [Gulii IM. Opit i perspective primeneniya tehnologii raspredelennogo reestra (Blockchain) v transportnih sistemah. In Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference “Strategiya i tactica realizacii socialno-economicih reform: regional'ni aspect”. 2018 Des 12-14; Vologda. Vologda: Vologda Scientific Center of the RAS; 2019. pp. 370-375. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41401429>. Ссылка активна на 01.12.2020.

12. Волкова Е.М. Оценка экономических эффектов предоставления мультимодальных транспортных услуг// Экономика железных дорог. – 2020. – № 4. – С. 27–35. [Volkova EM. Ocenka ekonomicheskikh effectov predostavleniya multimodalnih transportnih uslug. *The Railway Economics*. 2020;(4):27-35. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42709017>. Ссылка активна на 01.12.2020.
13. Общие условия оказания услуг транспортной экспедиции при организации продаж услуг через веб-сайт ПАО «ТрансКонтейнер». [Obchie usloviya okazaniya uslug transportnoi expedicii pri organizacii prodaj uslug cherez web- site PJSC “TransContainer”. (In Russ.)]. Доступно по: <https://trcont.com/our-services/lite>. Ссылка активна на 01.12.2020.
14. Han B, Wan M, Zhou Y. Evaluation of Multimodal Transport in China Based on Hesitation Fuzzy Multiattribute Decision-Making. *Mathematical problems in engineering*. 2020; (1823068). doi: 10.1155/2020/1823068
15. Chen DD, Zhang Y, Gao LP, Thompson RG. Optimizing Multimodal Transportation Routes Considering Container Use. *Sustainability*. 2019;11(19): Article №: 5320. doi: 10.3390/su11195320
16. Yang JH, Guo L. Optimization of Marine Port Logistics Collection and Distribution Network: A Perspective of Supply Chain Management. *Journal of coastal research*. 2020;106:473-476. doi: 10.2112/SI106-106.1
17. Zhao JH, Zhu XN, Wang L. Study on Scheme of Outbound Railway Container Organization in Rail-Water Intermodal Transportation. *Sustainability*. 2020;12(4):1519. doi: 10.3390/su12041519
18. He PI, Sun YI, Zhang Y, Li T. COVID-19's Impact on Stock Prices Across Different Sectors-An Event Study Based on the Chinese Stock Market. *Emerging markets Finance and Trade*. 2020;56(10):2198-2212. doi: 10.1080/1540496X.2020.1785865

Сведения об авторе:

Чеченова Лиана Мухамедовна, кандидат экономических наук;
eLibrary SPIN:7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454;
E-mail: liana1981-149@mail.ru

Information about the author:

Liana M. Chechenova, PhD Economics;
eLibrary SPIN:7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454;
E-mail: liana1981-149@mail.ru

Цитировать:

Чеченова Л.М. Повышение инвестиционной привлекательности транспортных организаций, осуществляющих интермодальные контейнерные перевозки в период пандемического кризиса // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 98–112. doi: 10.17816/transsyst20206498-112

To cite this article:

Chechenova LM. Increasing the Investment Attractiveness of Transport Organizations Engaged in Intermodal Container Transport During the Pandemic Crisis. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):98-112. doi: 10.17816/transsyst20206498-112

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.47

DOI 10.17816/transsyst202064113-126

© Ю. В. Егоров

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ НА ГРУЗОВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В XX–XXI ВВ.

Обоснование: масштабные планы развития транспортной инфраструктуры России, в том числе железнодорожной, требуют пересмотра и совершенствования современной тарифной системы; последнее немислимо без совершенствования существующих теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте.

Цель: разработка классификационных критериев эволюции теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. на основе наиболее значимых работ по данной теме; моделирование соответствия современного этапа развития данных теоретических подходов современным научным подходам определения экономической категории «цена».

Методы: сравнительный, анализ, синтез, системный подход.

Результаты: разработаны хронологическая классификация теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. (с выявлением соответствия этапов развития теории периодам развития железнодорожного транспорта), классификация современного этапа развития данных подходов по основным направлениям развития, модель соответствия элементов классификации современного этапа развития данных подходов современным научным подходам определения экономической категории «цена».

Заключение: разработанные классификации и модель соответствия можно использовать в дальнейшем для совершенствования существующих теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте, для разработки принципиально новых подобных подходов и методов их применения в тарифообразовании на практике.

Ключевые слова: грузовой железнодорожный тариф, ценообразование, классификация, модель соответствия, трудовая теория стоимости, теория предельной полезности.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© Yuriy V. Egorov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(Saint-Petersburg, Russia)

DEVELOPMENT OF THEORETICAL APPROACHES TO PRICING IN FREIGHT RAIL IN THE XX–THE BEGINNING OF XXI CENTURIES

Background: large-scale plans for the development of Russia's transport infrastructure, including the railroad, require revision and improvement of the modern tariff system; the latter is unthinkable without improving the existing theoretical approaches to pricing in freight rail transport.

Aim: development of classification criteria for the evolution of theoretical approaches to pricing in freight rail transport in the XX–early XXI centuries on the basis of the most significant works on this topic; modelling the matching of the current stage of development of these theoretical approaches to modern scientific approaches of determining the economic category "price".

Methods: comparative, analysis, synthesis, system approach.

Results: we developed a chronological classification of theoretical approaches to pricing in freight rail transport in the XX–early XXI centuries. (with the identification of the correspondence of the stages of development of the theory to the periods of development of railway transport), a classification of the current stage of development of these approaches in the main directions of development, and the model of the matching of the elements of the classification of the current stage of development of these approaches to modern scientific approaches to determining the economic category "price".

Conclusion: the developed classifications and the matching model can be used in the future to improve the existing theoretical approaches to pricing in freight rail transport, to develop fundamentally new similar approaches and methods of their application in pricing in practice.

Keywords: Freight rail tariff, pricing, classification, matching model, labor theory of value, marginal utility theory.

ВВЕДЕНИЕ

Начало эволюции теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте почти совпало по времени с появлением самого грузового железнодорожного транспорта в начале XIX в. и связано в основном с именами таких исследователей как Ч. Эллиот, Ж. Дельюи, Д. Ларднер. Сначала теория в этой сфере развивалась достаточно медленно, но с ускорением роста мировой железнодорожной сети во второй половине XIX в. ускорилось и развитие теории – такие исследователи как Д. Журавский, А. Чупров, О. Михаэлис, В. Лаунгардт, А. Шеффле, С. Витте, Д. Пихно, А.Т. Хэдли, В.М. Акворт и другие развили заложенные ранее теоретические положения и сформировали прочную базу последующей эволюции теории в XX–начале XXI вв.

К настоящему моменту времени издан ряд работ, которые анализируют развитие теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. К таким трудам частично относятся: классическая статья Д.Ф. Локлина [1] первой половины XX в., работы второй половины XX в. Р.Б. Эжелунда [2],

А. Крейнина [3] и С. Винстона [4], работа начала XXI в. Б. Лapidуса [5]. Работы И. Гулого [6], Е. Волковой [7], Н. Журавлевой [8], Л. Чеченовой [9] косвенно касаются данную проблематику.

Мы не подвергаем сомнению качество исследований, проведенных в вышеперечисленных работах, но отмечаем некоторые их недостатки, а именно:

- исследования некоторых авторов затрагивают только часть периода XX–начало XXI вв.;
- как правило, не обозначены четкие хронологические этапы развития теории, а также данным этапам не поставлены в соответствие периоды развития железнодорожного транспорта;
- недостаточно точно классифицирован по основным направлениям развития современный этап эволюции теории;
- авторы четко не обозначают соответствие современных теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте современным научным подходам определения экономической категории «цена».

Попытаемся данной статьей заполнить выявленные пробелы в исследованиях, проанализировав развитие теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. с опорой на наиболее значимые работы по данной проблематике.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой нашего исследования развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. послужили анализ, сравнительный метод, синтез, системный подход.

Прежде всего мы подвергли обобщению основные изданные работы XX–начала XXI вв. по рассматриваемой проблематике с детальным анализом их ключевых положений. После этого мы сравнили данные положения, учитывая хронологическую последовательность трудов различных авторов. Также при сравнении мы принимали во внимание существование (или отсутствие) преемственности идей, предложенных разными учеными. Далее мы использовали синтез для разработки хронологической классификации теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX – начале XXI вв., а также классификации современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте по основным направлениям развития.

Последняя из разработанных нами классификаций, а также проведенный нами анализ теоретических источников послужили основой

для синтеза нами модели соответствия элементов классификации современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте современным научным подходам определения экономической категории «цена».

Информационной основой нашего исследования послужили труды авторов XIX в., заложивших основы теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте (Ж. Деспьюи, Ч. Эллета, Д. Ларднера, Д. Журавского, А. Чупрова, О. Михаэлиса, В. Лаунгардта, А. Шеффле, С. Витте, Д. Пихно, Г.Л. Лансинга, Г. Кона, А.Т. Хэдли, В.М. Акворта и другие), а также работы исследователей XX–начала XXI вв., работавших позднее в данной сфере (К. Загорского, В. Беловежского, В. Рипли, А. Пигу, Г. Ваткинса, Ф. Рэмси, С. Струмилина, Е. Михальцева, В. Ледовского, Г. Вилсона, Д. Локлина, Т. Хачатурова, Д. Черномордика, А. Абрамова, А. Крейнина, М. Добба, С. Джоя, С. Винстона, С. Дамуса, Х. МакФарланда, Дж.-Е. Нилссона, К. Нэша, В. Ротенгаттера, Дж. Баумоля, Д. Виллига, Ф. Хусаинова, Б. Лapidуса, Л. Мазо, С. Резера, Н. Терешинной, В. Савчука, В. Галабурды, К. Баттона, М. Яроку и других). Кроме того, мы использовали в нашем исследовании работы ученых XX–начала XXI вв., работавших в сфере формирования современных научных подходов определения экономической категории «цена» в рамках концепции неоклассического синтеза, эволюции трудовой теории стоимости, развития теории предельной полезности, в русле принципиально новых концепций цены и ценообразования.

В начале нашего исследования мы кратко проанализировали основные работы авторов, сформировавших основы теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XIX в. (Ж. Деспьюи, Ч. Эллета, А. Чупрова, О. Михаэлиса, С. Витте, В.М. Акворта и других). Далее мы начали свой анализ XX–начала XXI вв. с работ К. Загорского и двигались дальше по времени к началу XXI в., рассматривая основные работы авторов XX в. (В. Беловежского, В. Рипли, А. Пигу, Ф. Рэмси, С. Струмилина, Д. Локлина, Д. Черномордика, А. Абрамова, А. Крейнина, С. Джоя, С. Винстона и других). Закончили мы наш анализ основными работами начала XXI в. (К. Нэша, В. Ротенгаттера, Б. Лapidуса, Л. Мазо, С. Резера, В. Савчука, В. Галабурды, К. Баттона и других). Анализ основных работ современного этапа (90-е гг. XX в. – настоящее время) послужил основой для разработки классификации современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте по основным направлениям развития. Последняя классификация и анализ основных работ авторов, работавших в сфере формирования современных научных подходов определения экономической категории «цена», явились базисом синтеза модели соответствия элементов классификации современного этапа

развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте современным научным подходам определения экономической категории «цена».

Также мы применяли системный подход в нашем исследовании, что выразилось в детальном анализе составляющих видения каждого ученого с последующей разработкой комплексной картины его точки зрения касательно теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По нашему мнению, в целом эволюцию теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. можно изобразить в виде хронологической классификации, представленной на Рис. 1.

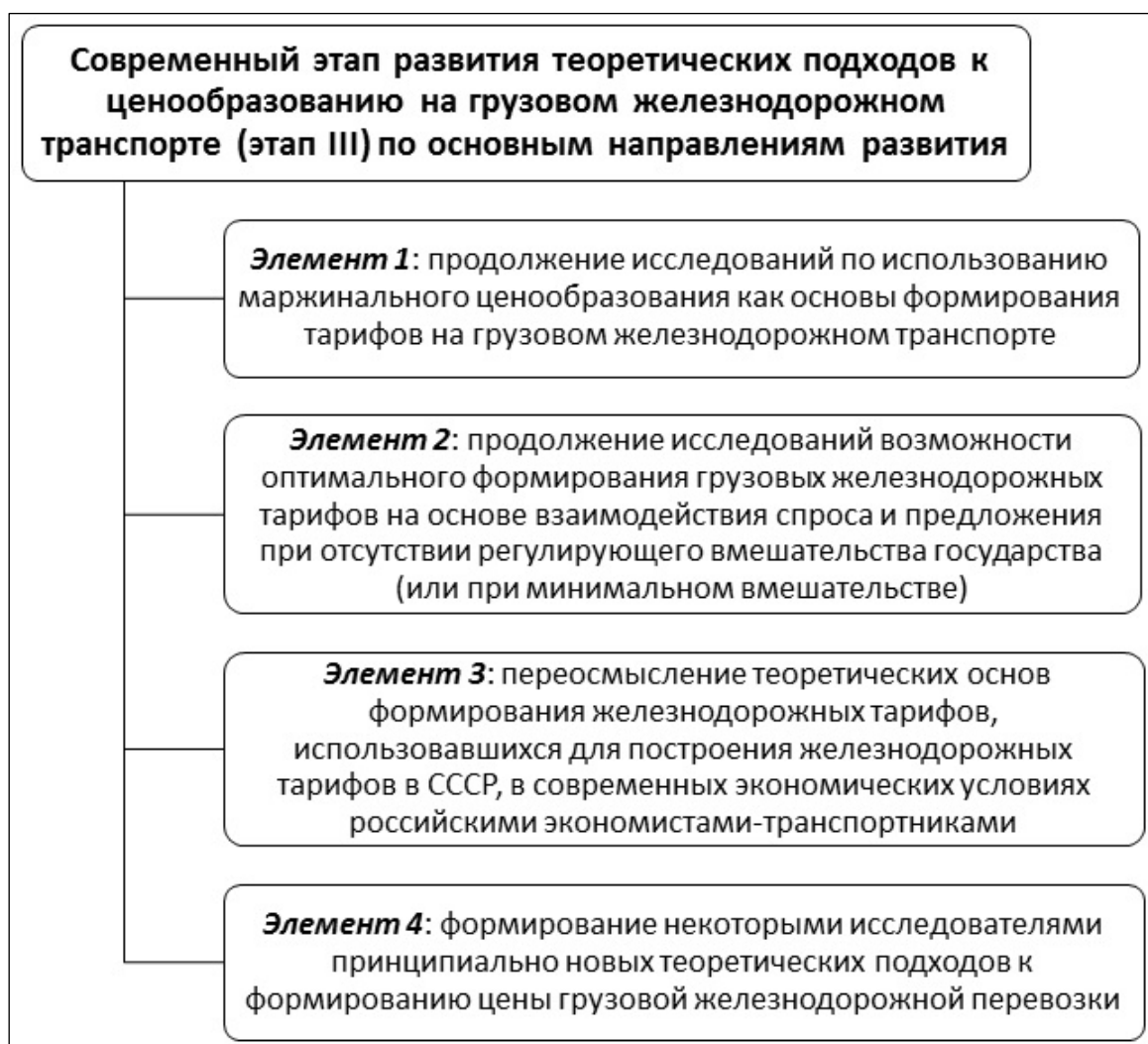


Источник: авторская разработка на основе анализа [1-5, 17, 20, 22-23]

Рис. 1. Хронологическая классификация теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX – начале XXI вв.

В разработанной нами классификации на Рис. 1 каждый этап развития теоретических представлений соответствует некоторому периоду развития железнодорожного транспорта, в частности:

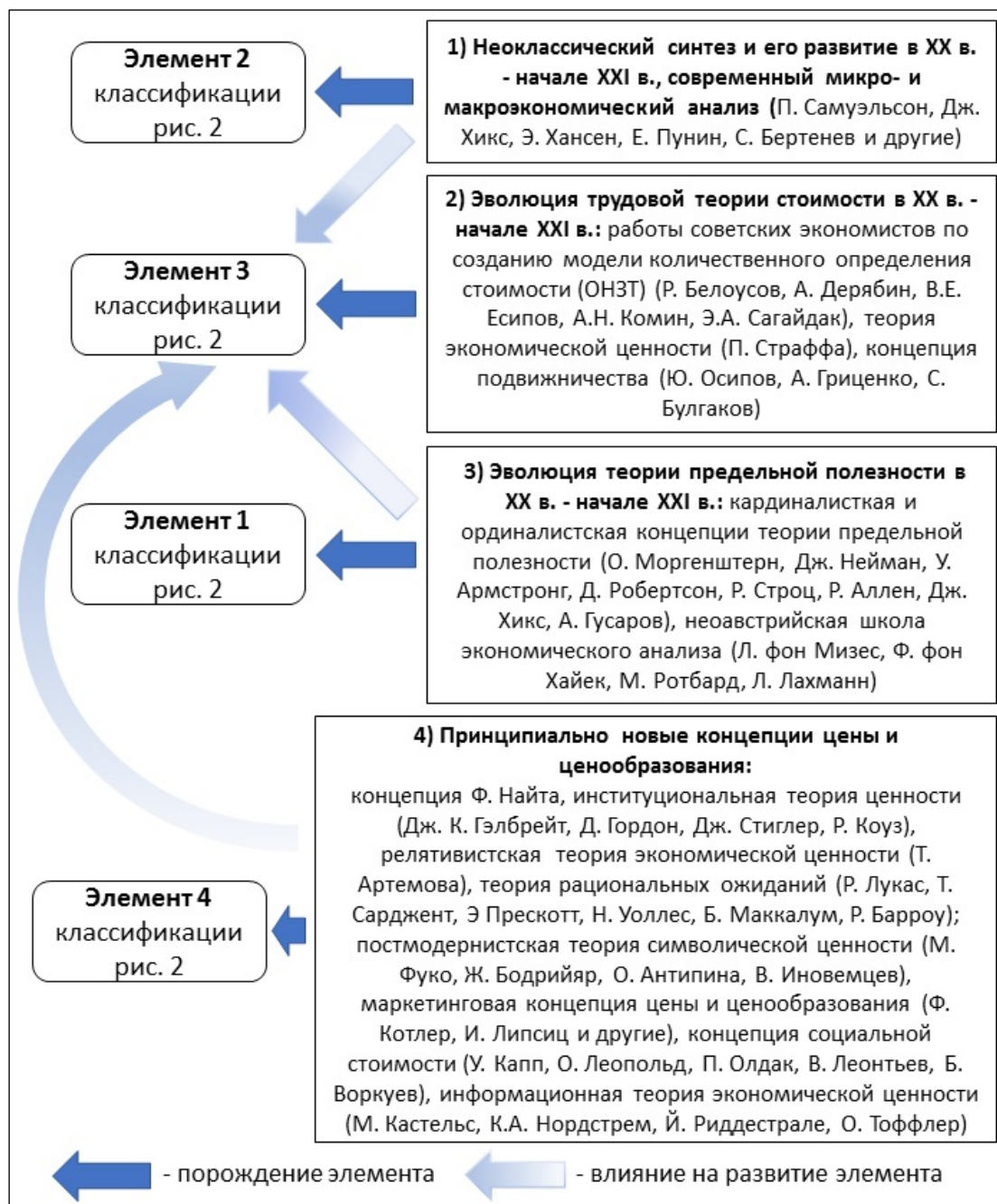
– **этап 0 (конец XVIII в. – конец XIX в.)**, совпадающий с периодами возникновения железных дорог (конец XVIII в. – начало XIX в.), начала формирования железнодорожной сети (30-е гг. XIX в. – 60-е гг. XIX в.), быстрого расширения железнодорожной сети с возникновением форм государственного регулирования железных дорог и созданием экономики железнодорожного транспорта как научной дисциплины (60-е гг. XIX в. – конец XIX в.), – это этап предыстории, этап зарождения и начального развития теоретических представлений в сфере грузовых железнодорожных тарифов;



Источник: авторская разработка на основе анализа [5, 10-27]

Рис. 2. Классификация современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте (этап III Рис. 1) по основным направлениям развития

– **этап I** (начало XX в. – 40-е гг. XX в.), приходящийся на период дальнейшего расширения железнодорожной сети, усиления/максимизации государственного регулирования железных дорог;



Источник: авторская разработка на основе анализа [1, 4-5, 10-27]

Рис. 3. Модель соответствия элементов классификации современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте (Рис. 2) современным научным подходам определения экономической категории «цена»

– **этап II** (40-е гг. XX в. – 90-е гг. XX в.), совпадающий с периодом совершенствования/расширения (или сокращения/оптимизации

– характерно для США) существующей железнодорожной сети, активизации внедрения достижений НТР на железнодорожном транспорте (в т.ч. появление ВСМ), ослаблением государственного регулирования железных дорог (характерно для США и Великобритании (к 70-м/80-м гг. XX в.), континентальной Западной Европы (к 90-м гг. XX в.) по мере реформирования железнодорожных отраслей США и Великобритании, развития процессов европейской интеграции и распространения мнения о необходимости усиления роли рынка в регулировании экономических процессов (дерегулирования рынка));

– **этап III**, современный этап (90-е гг. XX в. – настоящее время).

Содержание этапов 0 – II предложенной нами классификации на Рис. 1 достаточно подробно исследовалось некоторыми учеными, к примеру, Б.М. Лapidусом [5], А.В. Крейниным [3], Д.П. Локлиным [1]. Современный этап (этап III), на наш взгляд, можно изобразить в виде классификации по основным направлениям развития, представленной на Рис. 2.

Соответствие элементов классификации современного этапа (Рис. 2) современным научным подходам определения экономической категории «цена» можно, по нашему мнению, изобразить в виде модели соответствия, представленной на Рис. 3.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прокомментируем составные элементы предложенной нами классификации на Рис. 2.

Во-первых, на этапе III были продолжены исследования по использованию маржинального ценообразования (*marginal pricing*) как основы формирования тарифов на грузовом железнодорожном транспорте, в том числе и как основы формирования тарифов за использование железнодорожной инфраструктуры частными или государственными операторами. Здесь можно выделить таких авторов как Дж.-Е. Нилссон [10], С. Холдер [11], К. Нэш и Т. Сансон [12, 13], В. Ротенгаттер [14], П. Берия и другие [15], К. Кокелман и другие [16].

К примеру, Дж.-Е. Нилссон – автор анализирует введение шведскими законодателями обязательства для Банферкет (государственная компания – владелец железнодорожной инфраструктуры в Швеции) устанавливать плату за использование железнодорожной инфраструктуры на уровне социальных предельных затрат (предельные затраты использования железнодорожной инфраструктуры плюс затраты, порождаемые экстерналиями) с максимизацией социального благосостояния согласно неоклассической *welfare theory*. По мнению Нилссона, установление платы на уровне данных издержек невозможно и

плата должна устанавливаться на более низком уровне (т.е. должна применяться политика достижения «второго лучшего равновесия» («second-best policy») согласно «теории второго лучшего» («theory of second best»)) [10]. Следует сказать, что данное исследование Нилссона – это одна из попыток использования «теории второго лучшего», разработанной в 1956 г. Р.Г. Липси и К. Ланкастером [17], для анализа теоретических положений в сфере грузовых железнодорожных тарифов.

Во-вторых, на этапе III некоторые авторы продолжили исследования возможности оптимального формирования грузовых железнодорожных тарифов на основе взаимодействия спроса и предложения при отсутствии регулирующего вмешательства государства (или при минимальном вмешательстве), начатые еще в XIX в. Витте, Михаэлисом, Лансингом. Данные исследования проводились как для вертикально интегрированных железнодорожных компаний (к примеру, Дж.В. Баумоль и Д.Р. Виллиг [18]), так и для операторов подвижного состава (к примеру, Ф.И. Хусаинов [19]).

В-третьих, на этапе III в среде российских экономистов-транспортников произошло переосмысление теоретических основ формирования железнодорожных тарифов, использовавшихся для построения железнодорожных тарифов в СССР, в современных экономических условиях. До настоящего момента времени ведется дискуссия по роли затрат, платежеспособности грузов, конкуренции, государственного регулирования в формировании грузовых железнодорожных тарифов, в том числе с анализом зарубежного теоретического и практического опыта. Этому посвящены, к примеру, работы А.В. Крейнина [20], Б.М. Лapidуса [5], Л.А. Мазо [21], С.М. Резера [22], Н.П. Терешинной [23], В.Б. Савчука и А.А. Поликарпова [24] и других.

В-четвертых, на этапе III некоторые исследователи предлагают принципиально новые теоретические подходы к формированию цены грузовой железнодорожной перевозки. К таким авторам можно отнести, к примеру, К. Баттона [25] (формирование железнодорожных тарифов на фоне интеграции transport economics с логистикой на междисциплинарной основе), Фенг Фен-линг и Ли Фей-фей (ценообразование на грузовые железнодорожные перевозки на основе теории опционов) [26], М. Яроку и У. Рысюк (ценообразование на грузовые железнодорожные перевозки на основе комплекса различных групп факторов) [27] и других.

Теперь прокомментируем разработанную нами модель соответствия, изображенную на Рис. 3.

По нашему мнению, продолжение исследований по использованию маржинального ценообразования как основы формирования тарифов на грузовом железнодорожном транспорте (элемент 1 классификации Рис. 2) имеет в своей основе результаты эволюция теории предельной полезности

в XX–начале XXI вв. В качестве основы элемента 2 классификации Рис. 2 (продолжение исследований возможности оптимального формирования грузовых железнодорожных тарифов на основе взаимодействия спроса и предложения при отсутствии регулирующего вмешательства государства (или при минимальном вмешательстве)) выступает неоклассический синтез и его развитие в XX–начале XXI вв., современный микро- и макроэкономический анализ. Формирование некоторыми исследователями принципиально новых теоретических подходов к формированию цены грузовой железнодорожной перевозки (элемент 4 классификации Рис. 2) использует в качестве своей основы соответственно принципиально новые концепции цены и ценообразования.

Что касается элемента 3 классификации Рис. 2 (переосмысление теоретических основ формирования железнодорожных тарифов, использовавшихся для построения железнодорожных тарифов в СССР, в современных экономических условиях российскими экономистами-транспортниками), то основой здесь несомненно является эволюция трудовой теории стоимости в XX–начале XXI вв. Следует отметить, однако, что элемент 3 классификации Рис. 2 также испытывает в процессе своего развития сильное влияние всех остальных современных научных подходов определения экономической категории «цена», особенно в начале XXI в.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье нами был проведен анализ эволюции теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв., отталкиваясь от основных работ ученых, проводивших исследования в данной сфере. На базе проведенного анализа были разработаны: хронологическая классификация теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–начале XXI вв. (с выявлением соответствия этапов развития теории периодам развития железнодорожного транспорта) и классификация современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте по основным направлениям развития. Последняя классификация в совокупности с анализом основных работ авторов, работавших в сфере формирования современных научных подходов определения экономической категории «цена», послужили базисом синтеза нами модели соответствия элементов классификации современного этапа развития теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте современным научным подходам определения экономической категории «цена».

ВЫВОДЫ

Предложенные нами классификации и модель соответствия можно использовать в дальнейшем для совершенствования существующих теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте, а также для разработки принципиально новых подобных подходов и методов их применения в тарифообразовании на практике.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Locklin DP. The Literature on Railway Rate Theory. *The Quarterly Journal of Economics*. 1933;47(2):167-230. doi: 10.2307/1883686
2. Ekelund RB. Price Discrimination and Product Differentiation in Economic Theory: An Early Analysis. *The Quarterly Journal of Economics*. 1970;84(2):268-278. doi: 10.2307/1883013
3. Крейнин А.В. Транспортные тарифы в СССР (монография). – М.: Транспорт, 1978. – 276 с. [Kreinin AV. *Transportnyye tarify v SSSR* (monograph). Moscow: Transport, 1978. 276 p. (In Russ.)].
4. Winston C Conceptual Developments in the Economics of Transportation: An Interpretive. *Journal of Economic Literature* [Internet]. 1985 Mar [cited 2020 Oct 30];23(1):57-94. Available from: <https://www.jstor.org/stable/2725544?seq=1>.
5. Лapidус Б.М. Экономические проблемы управления железнодорожным транспортом России в период становления рыночных отношений (системный анализ) (монография). – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 288 с. [Lapidus BM. *Ekonomicheskiye problemy upravleniya zheleznodorozhnym transportom Rossii v period stanovleniya rynochnykh otnosheniy (sistemnyy analiz)* (monograph). Moscow: Izd-vo MGU, 2000. – 288 p. (In Russ.)].
6. Гулый И.М. Оценка влияния цифровых технологий на рост добавленной стоимости транспортных организаций // Бюллетень результатов научных исследований. – 2019. – № 3. – С. 88–100. [Guliy IM. Assessment of the digital technology impact on the growth of value added of transport organizations' activity. *Bulletin of scientific research results*. 2019;3:88-100. (In Russ., in Engl.)]. doi: 10.20295/2223-9987-2019-3-89-101.
7. Волкова Е.М., Стривовская А.В. Влияние логистических затрат на финансовые показатели работы компании // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 5. – С. 53–61. [Volkova EM, Strimovskaya AV. Influence of Logistics Costs on a Company's Financial Performance Indicators. *Logistics and Supply Chain Management*. 2018;5:53-61. (In Russ., in Engl.)]. Доступно по: <http://lscm.ru/images/PDF/5-2018/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0-05-2018.pdf>. Ссылка активна на: 30.10.2020.
8. Zhuravleva NA, Panychev AY, Palkina ES. New approach to transportation service pricing based on the stakeholder model of corporate governance. *Mediterranean*

- journal of social sciences*. 2015;6(4):299-308. doi: 10.5901/mjss.2015.v6n4s4p299.
9. Чеченова Л.М., Егоров Ю.В., Волыхина Н.В. Перспективы развития скоростного железнодорожного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 26–35. [Chechenova LM, Egorov YV, Volykhina NV. Perspectives for the Development of High-Speed Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2019;5(3):26-35. (In Russ., in Engl.)]. doi:10.17816/transsyst20195326-35.
 10. Nilsson JE. Second Best Problems in Railway Infrastructure Pricing and Investment. *Journal of Transport Economics and Policy* [Internet]. [cited 2020 Oct 30]; 1992;26(3):245-259. Available from: http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf/Volume_XXV1_No_3_245-259.pdf.
 11. Holder S. Recent Developments in Rail Infrastructure Charging in The European Union. *Journal of Transport Economics and Policy* [Internet]. [cited 2020 Oct 30]; 1999;33(1):111-118. Available from: http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf/Volume_33_Part_1_111-118.pdf.
 12. Nash C. Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport: a comment. *Transport Policy*. 2003;10(4):345-348. doi: 10.1016/j.tranpol.2003.09.004
 13. Nash C, Sansom T. Pricing European Transport Systems: Recent Developments and Evidence from Case Studies. *Journal of Transport Economics and Policy* [Internet]. 2001 Sep [cited 2020 Oct 30];35(3):363-380. Available from: http://eprints.whiterose.ac.uk/2031/1/ITS198_Pricing_European_transport_systems...pdf.
 14. Rothengatter W. How good is first best? Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport. *Transport Policy*. 2003;10(2):121-130. doi: 10.1016/s0967-070x(02)00063-x
 15. Beria P, Quinet E, de Rus G, Schulz C. A comparison of rail liberalisation levels across four European countries. *Research in Transportation Economics*. 2012;36(1):110-120. doi: 10.1016/j.retrec.2012.03.014
 16. Kockelman K., Chen T.D., Larsen K., Nichols B. The economics of transportation systems: a reference for practitioners. University of Texas at Austin, 2014. 316 p. [cited 2020 Oct 30]. Available from: https://www.ce.utexas.edu/prof/kockelman/TransportationEconomics_Website/TranspEconReference.pdf.
 17. Lipsey RG, Lancaster K. The General Theory of Second Best. *The Review of Economic Studies*. 1956;24(1):11-32. doi: 10.2307/2296233
 18. Baumol WJ, Willig RD. Competitive Rail Regulation Rules: Should Price Ceilings Constrain Final Products or Inputs? *Journal of Transport Economics and Policy* [Internet]. 1999 Jan [cited 2020 Oct 30];33(1):43-53. Available from: <https://www.jstor.org/stable/20053790?seq=1>.
 19. Хусаинов Ф.И. Железнодорожные тарифы в СССР и России во второй половине XX–начале XXI вв. // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – № 3. – С. 8–19. [Khusainov FI. Railway tariffs in the USSR and Russia in the second half of the XX – early XXI century. *The Bulletin of Transport Information*. 2016;3:8-19. (In Russ., in Engl.)]. Доступно по: <https://docplayer.ru/28308232-Zheleznodorozhnye-tarify-v-sssr-i-rossii-vo-vtoroy-polovine-xx-nachale-xxi-vv.html>. Ссылка активна на: 30.10.2020.
 20. Крейнин А.В. Развитие системы железнодорожных грузовых тарифов и их регулирование в России (1837-2007 гг.) (монография). – М.: Издательский дом

- Международного университета в Москве, 2010. – 268 с. [Kreinin AV. *Razvitiye sistemy zheleznodorozhnykh gruzovykh tarifov i ikh regulirovaniye v Rossii (1837-2007 gg.)* (monograph). Moscow: Izdatel'skiy dom Mezhdunarodnogo universiteta v Moskve; 2010. 268 p. (In Russ.)].
21. Мазо Л.А. Актуальные вопросы совершенствования железнодорожных грузовых тарифов // Экономика железных дорог. – 2014. – №4. – С. 11–23. [Mazo LA. Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya zheleznodorozhnykh gruzovykh tarifov. *Railway Economy*. 2014;4:11-23. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21483582>. Ссылка активна на: 30.10.2020.
 22. Резер С.М., Резер А.В. Развитие системы тарифов железных дорог на основе опыта зарубежных стран // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. – 2017. – № 11. – С. 3–7. [Rezer SM, Rezer AV. Development of the Tariff System of Railways Based on the Experience of Foreign Countries. *TRANSPORT: science, equipment, management*. 2017;11:3-7. (In Russ, in Engl.)]. Доступно по: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J16119794>. Ссылка активна на: 30.10.2020.
 23. Терешина Н.П., Подсорин В.А., Данилина М.Г. Экономика железнодорожного транспорта: учебное пособие. – М.: РУТ(МИИТ), 2018. – 265 с. [Tereshina NP, Podsorin VA, Danilina MG. *Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: uchebnoye posobiye*. Moscow: RUT(МИИТ); 2018. 265 p. (In Russ.)].
 24. Савчук В.Б., Поликарпов А.А. Модель динамичного тарифообразования железнодорожного транспорта в условиях конкуренции между видами транспорта // Экономика железных дорог. – 2013. – №12. – С. 31–38. [Savchuk VB, Polikarpov AA. Model' dinamichnogo tarifoobrazovaniya zheleznodorozhnogo transporta v usloviyakh konkurentсии mezhdu vidami transporta. *Railway Economy*. 2013;12:31-38. (In Russ.)]. Доступно по: <http://railways.prometej.su>. Ссылка активна на: 30.10.2020.
 25. Button K. Transportation Economics: Some Developments Over the Past 30 Years. *Journal of the Transportation Research Forum*. 2010;45(2):7-30. doi: 10.5399/osu/jtrf.45.2.906
 26. Feng F, Li F. Pricing model of railway cargo transport based on option theory. *Journal of Railway Science and Engineering* [Internet]. 2012 Feb [cited 2020 Oct 30];9(2):72-78. Available from: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-CSTD201202016.htm.
 27. Jarocka M, Ryciuk U. Pricing in the railway transport. In: Proceedings of the 9th International Scientific Conference “Business and Management 2016”; 2016 May 12–13; Vilnius, Lithuania. VGTU Press; 2016. p. 1–8. doi: 10.3846/bm.2016.76

Сведения об авторах:

Егоров Юрий Владимирович, кандидат экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4902-5477; ORCID: 0000-0003-1485-4042;
E-mail: orion56@mail.ru

Information about the authors:

Yuriy V. Egorov, Candidate of Sciences (Economics);
eLibrary SPIN: 4902-5477; ORCID: 0000-0003-1485-4042;
E-mail: orion56@mail.ru

Цитировать:

Егоров Ю.В. Развитие теоретических подходов к ценообразованию на грузовом железнодорожном транспорте в XX–XXI вв. // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 113–126. doi: 10.17816/transsyst202064113-126

To cite this article:

Egorov YV. Development of theoretical approaches to pricing in freight rail in the XX–the beginning of XXI centuries. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):113-126. doi: 10.17816/transsyst202064113-126

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.47

DOI 10.17816/transsyst202064127-142

© А. С. Романов, М. А. Лякина

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ ОТ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ РАЗВИТИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ

Обоснование: Одной из актуальных тенденций развития современных транспортных систем является использование инновационных технологий, направленных на рациональное использование ресурсов, что подтверждается развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения, предполагающего сокращение временных затрат. Мировая практика реализации высокоскоростных железнодорожных проектов свидетельствует о многообразии форм влияния изменения транспортной доступности на социально-экономическую сферу, что позволяет рассматривать ВСМ не только в качестве транспортной инновации, определяющей конкурентоспособность железнодорожного транспорта, но и инструмента экономического стимулирования развития территорий.

Цель: Обоснование механизма образования внешних эффектов от реализации проектов высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Методы: Для достижения поставленной цели были использованы общенаучные методы исследования как системный подход, сравнительный анализ, аналогия, обобщение, синтез, индукция.

Результаты: Конкретизирован механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности, обусловленной реализацией проектов ВСМ, что позволяет рассматривать проекты ВСМ в качестве катализатора экономического развития. Выявлен двойственный характер взаимосвязи эффективности высокоскоростного железнодорожного транспорта, обеспечивающей образование внешних эффектов, и интеграционных транспортных процессов, оказывающих влияние на изменение транспортной доступности района тяготения высокоскоростной инфраструктуры.

Ключевые слова: высокоскоростные железнодорожные магистрали, транспортная доступность, общие транспортные затраты, внешние эффекты.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© A. S. Romanov, M. A. Lyakina

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

THE FORMATION MECHANISM OF EXTERNAL EFFECTS OF IMPROVING TRANSPORT ACCESSIBILITY CAUSED BY HIGH-SPEED RAIL DEVELOPMENT

Background: One of the current trends of modern transport systems development process is innovative technologies application aimed to rational use of resources, which is confirmed by the development of high-speed rail supposing to reduce travel time costs. The world practice of high-speed railway projects implementation verifies variety of transport availability influences on social and economic sphere that allows to consider HSR not only as the transport innovation defining competitiveness of railway transport, but also as the economic stimulation tool for territory development.

Aim: to substantiate the formation mechanism of external effects from high-speed rail transport projects implementation.

Methods: the study was conducted by means of scientific methods such as the systematic method, comparative analysis, analogy, generalization and abstraction, synthesis, induction.

Results: the formation mechanism of external effects from the transport accessibility improving caused by HSR projects implementation was specified, which allows considering HSR projects as a tool for economic development. The dual nature of the relationship between the high-speed rail efficiency, which ensure the external effects formation, and integration transport processes that affect transport accessibility was revealed.

Key words: high-speed rail, transport accessibility, general transport costs, external effects.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что некоторые экономисты отрицают существование социально-экономических экстерналий от реализации транспортных проектов [1], мировой опыт эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта свидетельствует об обратном – при реализации ВСМ-проектов значительную часть эффектов получает не организация, занимающаяся непосредственно строительством и последующей эксплуатацией, а пассажиры, население района тяготения и экономика в целом. Ключевым результатом развития высокоскоростного железнодорожного транспорта является повышение транспортной доступности, которая способствует росту мобильности населения, трансформирует модель поведения экономических агентов и является своеобразным рычагом, активизирующим влияние проекта на социально-экономическую сферу.

ТРАНСПОРТНАЯ ДОСТУПНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Прямым результатом реализации инвестиционных транспортных проектов является изменение транспортной доступности района тяготения.

В широком смысле под доступностью понимается потенциал возможностей для взаимодействия [2]. Транспортная доступность обозначает легкость достижения желаемых пунктов назначения с помощью использования конкретной транспортной системы [3].

Для оценки *транспортной доступности* используются различные показатели в зависимости от целей проводимого анализа. В зарубежной практике наиболее часто встречаются следующие.

Первый показатель, средневзвешенное время проезда (weighted average travel time), направлен на оценку уровня связности элементов транспортной сети. Данный показатель рассчитывается как среднее время проезда между одним транспортным узлом и другими подсоединенными узлами, взвешенное по «экономическому весу» пункта назначения, который измеряется по региональному валовому продукту.

Второй показатель, суточная доступность (daily accessibility), направлен на оценку возможности перемещения из одного населенного пункта в другие с учетом количества проживающих и уровня экономического развития в этих населенных пунктах за определенный период времени. Обычно для расчета данного показателя берется временной интервал в 3–4 часа, что позволяет учитывать необходимость обратного возвращения в начальный пункт отправления в этот же день.

Третий показатель, потенциальная ценность (potential values), направлен на оценку взаимосвязи расстояния и распределения экономической активности. Данный показатель связывает пространственную отдаленность с численностью населения и уровнем экономического развития населенных пунктов для оценки экономического потенциала данной территории.

Формулы расчета указанных показателей транспортной доступности представлены ниже.

$$\text{Средневзвешенное время проезда} = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ij} * M_j}{\sum_{j=1}^n M_j}, \quad (1)$$

где T_{ij} – минимальное время, необходимое для перемещения из пункта i в пункт j всеми доступными видами транспорта,

M_j – экономический вес пункта назначения.

$$\text{Суточная доступность} = \sum_{T_{ij} \leq T_{max}} g_j, \quad (2)$$

где g_j – численность населения пункта j .

$$\text{Потенциальная ценность} = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \frac{M_j}{T_{ij}^\alpha}. \quad (3)$$

Зависимость изменения транспортной доступности городов от их территориальной близости к высокоскоростной железнодорожной

инфраструктуре соответствует понятию о затухании экономической деятельности – чем ближе город находится к высокоскоростной железнодорожной станции, тем больший уровень транспортной доступности наблюдается в данном населенном пункте. Однако, количество промежуточных станций определенной магистрали отличается двойственным характером влияния на качество предоставления высокоскоростной транспортной услуги, обуславливающей её конкурентоспособность на рынке пассажирских перевозок.

С одной стороны, увеличение количества промежуточных станций приводит к территориальному сближению и способствует пространственной реструктуризации района тяготения высокоскоростной инфраструктуры. С другой стороны, каждая дополнительная станция увеличивает не только объем инвестиционных затрат, но и временные затраты, необходимые для прохождения пути, так как каждая дополнительная остановка способствует снижению средней магистральной скорости движения. Следовательно, особое внимание должно уделяться не количеству станций на линии, а их расположению и возможности удобного доступа.

На уровень транспортной доступности значительное влияние оказывают не только количество и территориальное расположение высокоскоростных железнодорожных станций, но и степень интеграции высокоскоростной железнодорожной инфраструктуры в региональные и городские транспортные сети. В мировой практике встречаются следующие варианты размещения высокоскоростных железнодорожных станций. Первый вариант, предполагающий модернизацию существующих железнодорожных линий, заключается в комбинации доступа к высокоскоростной и обычной железнодорожной инфраструктуре в непосредственной близости. Основная цель такого размещения заключается в предоставлении удобного доступа пассажиров к высокоскоростной инфраструктуре и создании условий, необходимых для формирования мультимодальной пассажирской транспортной системы, основанной на процессе интеграции различных видов транспорта. Главным преимуществом расположения высокоскоростных железнодорожных станций в центральных районах является высокая плотность населения, генерирующая экономическую активность и обуславливающая спрос на транспортные услуги. Например, данный вариант размещения получил широкое распространение во Франции и Японии, где высокоскоростные железнодорожные вокзалы находятся в центральных городских районах.

Несколько иначе выглядит ситуация с размещением железнодорожной инфраструктуры, изначально предназначенной для высокоскоростного сообщения, так как инвестиционные затраты для

строительства в развитых городских территориях существенно выше, а специфика данных проектов подразумевает использование значительной площади ровных и свободных земельных участков. Данные ограничения способствовали размещению промежуточных высокоскоростных железнодорожных станций за пределами городской черты. Такой вариант размещения часто встречается на территории континентальной части Китая. В некоторых странах Европейского союза можно также наблюдать подобное размещение, однако, несмотря на относительную удаленность от центральных городских районов, высокоскоростные станции находятся в интеграции с городским общественным транспортом для удобства пассажиров [4].

Второй вариант размещения высокоскоростных железнодорожных станций направлен на стимулирование нового городского строительства, способствующего интенсификации урбанизационных процессов. В данном случае высокоскоростные железнодорожные станции находятся на значительном расстоянии от существующих городских территорий. Предполагается, что в долгосрочном периоде транспортная инфраструктура постепенно будет способствовать развитию прилегающих территорий и равномерному распределению ресурсов. Однако, удаленное расположение транспортной инфраструктуры от мест концентрации экономической деятельности значительно сокращает потенциальный объем пассажиропотока, что соответственно снижает прибыль и увеличивает срок окупаемости транспортного проекта.

Данный вариант размещения характерен для Китайской высокоскоростной железнодорожной сети, развитие которой используется как один из инструментов государственного стимулирования роста урбанизации. Так, на конец 2019 года доля населения Китая, проживающая в городской черте, составила 60,6 % от общей численности. По прогнозным оценкам экспертов ООН, к 2050 году доля городского населения будет составлять 76 % [5].

Сравнительный анализ обычной железнодорожной сети и высокоскоростной сети в районе дельты реки Янцзы (Китай) относительно затрачиваемого времени в поездах «от двери до двери» показал, что среднее время в пути при путешествии между городами на высокоскоростном железнодорожном транспорте меньше на 26 %. Однако, из-за удаленного расположения высокоскоростных станций от центральных городских районов, время, необходимое для перемещения от станции до пункта назначения в среднем выше на 12 %, чем при использовании обычного железнодорожного транспорта, что снижает привлекательность высокоскоростного сообщения для пассажира [6].

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ ОТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ

С точки зрения пользователей транспортной системы выгоды от реализации проектов высокоскоростного железнодорожного транспорта заключаются в снижении общих транспортных затрат, которые состоят из финансовых и временных затрат. Снижение временных затрат рассматривается как фактор влияния, распространяющий свое действие на других экономических агентов, благодаря чему образуются внешние эффекты от реализации транспортного проекта.

Группа китайских исследователей выделяет два основных канала, через которые транспортный сектор оказывает влияние на социально-экономическую сферу (Рис. 1).



Источник: составлено авторами на основании [7]

Рис. 1. Направления трансформации транспортной доступности в социально-экономические эффекты

Первый, предполагающий изменение землепользования и развитие отраслей, ориентированных на транспортное строительство. И второй, предусматривающий экономический рост благодаря повышению мобильности производственных факторов, изменения инвестиционной активности и повышению производительности труда [7]. На наш взгляд, указанный подход отличается фрагментарным характером учета внешних эффектов и требует усовершенствования. Далее рассмотрим процесс образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности подробнее.

Спектр экономического воздействия на территориальную трансформацию района тяготения высокоскоростной железнодорожной магистрали можно условно разделить на три направления:

- 1) эффект города;

- 2) эффект транспортного коридора;
- 3) эффект сифона [8].

Эффект города проявляется через сокращение времени в пути, обуславливающего сближение городов, соединенных высокоскоростной магистралью и, следовательно, ведет к снижению транспортных расходов. Снижение транспортных расходов способствует более свободному перемещению факторов производства (трудовые ресурсы, капитал, информация), что укрепляет экономическую связь городов и в конечном итоге способствует их экономическому развитию.

Эффект транспортного коридора по своему действию несколько напоминает эффект города, однако, отличается масштабом воздействия и более поздним проявлением. В результате повышения транспортной доступности, вызванного высокоскоростным железнодорожным сообщением, осевые города постепенно вовлекаются в экономическую деятельность городов, непосредственно подключенных к магистрали. Новые экономические связи оптимизируют распределение ресурсов и способствуют усилению агломерационных процессов, тем самым и образуя экономический «коридор».

Эффект сифона предполагает, что высокоскоростное железнодорожное сообщение усиливает географическое преимущество территории, что способствует притоку капитала и специалистов в города, подключенные к высокоскоростной магистрали. Также благодаря сокращению времени в рабочих поездках, высокоскоростное железнодорожное сообщение облегчает сотрудничество предприятий, тем самым усиливая их конкурентоспособность. Исходя из предположения, что транспортные расходы формируют потенциал хозяйствующего субъекта, ожидается, что их изменение может повлиять на территориальное расположение коммерческих организаций в местах концентрации экономической активности. Так, развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения во Франции рассматривается, как фактор открытия региональных офисов крупных корпораций в средних и маленьких городах, подключенных к системе ВСМ [9].

Если рассматривать последовательность возникновения указанных эффектов, то логично предположить, что первым из направлений экономической трансформации района тяготения будет эффект города, так как сокращение времени в пути в первую очередь означает выгоды для пользователей транспортной системы и жителей городов, непосредственно подключенных к системе высокоскоростного железнодорожного сообщения. Территориальное сближение, вызванное улучшением транспортной доступности, постепенно начнет отражаться и на близлежащих городах, поэтому эффект транспортного коридора вытекает

из эффекта города. Однако, агломерационные процессы носят средне- и долгосрочный характер, и транспортные инвестиционные проекты являются лишь одним из многих факторов их интенсификации.

По времени образования эффект сифона может сопутствовать и эффекту города, если рассматривать процесс с точки зрения одного-нескольких городов, подключенных к магистрали, и эффекту транспортного коридора, если рассматривать район тяготения как один крупный агломерационный центр, перетягивающий ресурсы с других территорий, процесс экономического развития которых характеризуется отставанием.

Первоначальное влияние проекта ВСМ на ВВП вытекает непосредственно из самого процесса строительства магистрали. Будучи крупным инфраструктурным проектом, вовлекающим значительное количество трудовых ресурсов различной квалификации, проект ВСМ создает большое количество новых рабочих мест. Можно отметить, что в определенных случаях, отличающихся благоприятными условиями для экономического развития, проекты ВСМ характеризуются более широким спектром экономического влияния по сравнению с другими транспортными проектами.

С точки зрения отдельного региона экономический эффект может варьировать в зависимости от структуры локального рынка труда, то есть являются рабочие, вовлеченные в строительство, жителями данного региона, либо же трудовыми мигрантами, которым свойственна тенденция сбережения заработной платы, соответственно, данные выплаты не окажут заметного воздействия на экономику региона. Это касается и использования строительных инструментов и материалов – были ли они закуплены в регионе строительства, либо же привезены извне.

С позиции городского строительства транспортная инфраструктура рассматривается как системообразующая и определяющая вектор городского развития. Ожидаемое открытие высокоскоростного железнодорожного сообщения зачастую способствует привлечению дополнительных частных и государственных инвестиций для реализации проектов, расположенных неподалеку от высокоскоростной инфраструктуры, так называемого «зависимого строительства», что опять же усиливает эффект создания дополнительных рабочих мест. Предполагается, экономическое воздействие от высокоскоростной инфраструктуры распространяется до 600 км от станции, однако, основной влияние сфокусировано в радиусе 1,2 км от станции [7].

Кроме того, чем ближе расположение земельного участка к высокоскоростной станции, тем дороже его стоимость. Это обусловлено высоким спросом со стороны населения на жилую площадь в районах с высокой транспортной доступностью. Соответственно, застройка

земельных участков, прилегающих к высокоскоростной станции, сопровождается высокой конкуренцией и ростом цен. Например, как показал анализ цен на землю в Японии, даже информация о планируемом строительстве высокоскоростной линии неминуемо способствует увеличению цен на земельные участки в прилегающих районах [10].

Безусловно, стоимость земельных участков находится в многофакторной зависимости от состояния экономики в целом, процентных ставок, уровня доходов населения, спроса на жилье в определенном районе, экологической обстановки и удобства городской инфраструктуры. Тем не менее влияние развития высокоскоростного железнодорожного сообщения на стоимость земли было выявлено неоднократно и в разных странах. Например, строительство высокоскоростных станций во Франции способствовало увеличению стоимости земли приблизительно на 2,18 % по сравнению со средним показателем в данном регионе [11].

Особенно выраженное влияние на стоимость жилья вследствие развития высокоскоростного транспорта наблюдалось в Тайване. Так, в 2013 году соотношение стоимости жилья к уровню доходов населения в столице Тайбэй составляло 9 к 1, что обозначало, что для покупки собственного жилья среднестатистическому жителю понадобится 9 лет при условии, что весь чистый доход пойдет на оплату сделки. Стоит подчеркнуть, что зависимость цен на жилье от уровня транспортной доступности наблюдается исключительно в рыночных экономических системах. Этим объясняется факт отсутствия изменения стоимости земли в районах Китая, прилегающих к высокоскоростным станциям, так как стоимость земельных участков строго регламентируется правительством.

Наличие удобной транспортной инфраструктуры также влияет на привлекательность населенного пункта с точки зрения *инвестиционной активности*. Наиболее развитой транспортной инфраструктурой обладают крупнейшие города, однако и стоимость земельных участков здесь гораздо выше, что значительно увеличивает инвестиционные расходы. Подключение городов второго уровня к системе высокоскоростных железнодорожных магистралей позволило этим городам стать альтернативными объектами инвестирования. В 2014 году стоимость аренды жилого помещения в Чанчжоу составляла 7242 юаня/м², или всего 25 % от аренды в Шанхае. Ожидается, что более низкие инвестиционные затраты будут стимулировать экономическую деятельность [12].

Рост мобильности населения вследствие реализации ВСМ-проектов также способствует перераспределению ресурсов, концентрирующему экономическую активность в крупных населенных пунктах. Проведенное китайскими специалистами исследование показало, что организация высокоскоростного железнодорожного сообщения способствовала

изменению уровня производительности предприятий в городах, подключенных к сети ВСМ. Так, в крупных социально-экономических центрах наблюдался рост общей производительности предприятий, который составил 1,38 %. Однако, в небольших городах, расположенных на расстоянии до 300 км от крупных социально-экономических центров, снижение уровня производительности предприятий составило 8,45 % [13]. Следовательно, снижение общих транспортных затрат вследствие подключения новых городов к сети-ВСМ способствовало смещению экономической деятельности в крупные города. Такие масштабные проекты как ВСМ выполняют роль катализатора развития экономики регионов, сквозь которые проходит магистраль.

Улучшение транспортной доступности, обозначающей сокращение временных затрат на перемещение, вследствие реализации проектов высокоскоростного железнодорожного сообщения также способствует развитию агломерационных процессов путем интенсификации экономических связей между городами. В свою очередь интенсификация экономических связей подразумевает рост занятости населения, что положительно отражается на доходах домохозяйств, соответственно, и на региональном валовом продукте. В свою очередь увеличение платежеспособности населения ведет к увеличению спроса, следовательно, к объему выпускаемой продукции и услуг в регионе, что положительно отражается на валовом региональном продукте. Повышение транспортной доступности является фактором перемещения домохозяйств и фирм в районы, непосредственно прилегающие к высокоскоростной транспортной инфраструктуре, что в средне- и долгосрочной перспективе может привести к образованию новых центров концентрации экономической деятельности [14]. Также было выявлено, что в городах, обеспеченных высокоскоростным железнодорожным сообщением, наблюдаются более высокие темпы роста численности населения и уровня занятости [15]. Концентрация производственных ресурсов вследствие повышения транспортной доступности также отражается на стремлении коммерческих организаций к перемещению, либо к открытию дополнительных офисов в городах, подключенных к высокоскоростной инфраструктуре.

Стоит отметить, что в зависимости от размера организации по-разному реагируют на изменение транспортной доступности. Так, средние и крупные предприятия склонны к перемещению производства в небольшие города, недавно подключенные к системе ВСМ, с целью снижения издержек на оплату труда и аренду помещений. Небольшие же предприятия с целью сокращения транспортных расходов склонны к расположению вблизи мест реализации товаров. Следовательно, при грамотном планировании развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения способствует усилению агломерационных процессов,

углублению специализации и повышению эффективности производства [16].

Ожидается, что от улучшения транспортной доступности выигрывают все населенные пункты, подключенные к системе высокоскоростного железнодорожного сообщения, однако, экономические исследования свидетельствуют о неоднородности выгод вследствие развития транспортной сети. Из-за отсутствия благоприятных условий для экономического роста определенные города не только не получают выгод от транспортных улучшений, но и демонстрируют более выраженное отставание – пространственное перераспределение ресурсов усиливает разрыв между основными центрами и периферийными областями экономической деятельности. Как правило, в крупных социально-экономических центрах складываются более благоприятные условия для экономического развития, нежели в средних и небольших городах. Именно этим объясняется гетерогенность влияния высокоскоростного железнодорожного транспорта на города в зависимости от их размера. Например, несмотря на то, что экономический эффект от развития высокоскоростного железнодорожного сообщения для большинства городов в районе Шелкового пути (Китай) оказался положительным, величина этого эффекта различна. Крупные города, подключенные к системе ВСМ, демонстрируют тенденцию к аккумуляции ресурсов из меньших городов, что усиливает их экономическое развитие. Однако, средние и небольшие города в большей степени чувствительны к изменению заработной платы, вызванной транспортной доступностью, нежели крупные [8].

На величину экономического эффекта от изменения транспортной доступности, обусловленной развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения, также оказывает влияние структура городской экономики. Сокращение общих транспортных затрат в первую очередь отражается на компаниях, которые специализируются на услугах, так как мобильность их сотрудников значительно возрастает, соответственно, и обслуживаемая площадь, что фактически означает усиление конкуренции. Транспортные возможности, открывающиеся перед населением, влияют и на сегментацию рынка труда – в связи с повышением транспортной доступности от развития высокоскоростного железнодорожного сообщения определенные социальные группы выиграют от новых рабочих возможностей, так как эффективная экономическая плотность территории возрастает (площадь концентрации экономической активности, проезд до которой составляет от 60 до 90 минут) [17].

Относительно структуры городской экономики, как фактора чувствительности города на улучшение транспортной доступности

вследствие развития высокоскоростного железнодорожного сообщения, стоит отдельно рассмотреть туристическую отрасль. Основным аргументом заключается в том, что транспорт является неотъемлемой частью туристической отрасли, поэтому транспортные инновации отражаются на туризме. Повышение транспортной доступности увеличивает уровень мобильности населения, тем самым стимулируя пассажиров к туристическим поездкам. Так, проведенный анализ показал, что расширение сети ВСМ в южных и восточных регионах Китая спровоцировало дополнительный приток иностранных туристов, что соответственно отразилось на региональных бюджетных поступлениях. Анализ влияния высокоскоростного железнодорожного сообщения на туристическую отрасль Китая 2004–2010 гг. показал, что количество иностранных туристов в провинциях, обеспеченных высокоскоростным железнодорожным транспортом, выше примерно на 20 % по сравнению с уровнем туристов в провинциях без ВСМ [18].

Привлекательность ВСМ для туристов напрямую зависит от расстояния до пункта назначения. При путешествиях на расстояния до 300 км только 19,2 % пассажиров выбрали данный вид транспорта для передвижения к месту туристического отдыха. Однако, на расстояниях до 600 км данный показатель составил уже 54,8 %. Стоит отметить, что выбор высокоскоростного железнодорожного транспорта как основного способа перемещения во время туристического отдыха отчасти обусловлен возможностью посетить пункт назначения и вернуться обратно без необходимости ночлега [19].

Рост туризма, вызванный увеличением транспортной доступности, напрямую связан с уровнем развития туристической инфраструктуры в определенных городах. Большие города с разнообразными туристическими маршрутами и достопримечательностями более чувствительны к открытию высокоскоростных железнодорожных магистралей, нежели города поменьше. Так, несмотря на то, что высокоскоростная железнодорожная магистраль в Тайване, соединяет 12 населенных пунктов, значительное увеличение количества прибывших туристов отмечается только в 5 городах [20]. Соответственно, повышение транспортной доступности может оказывать определенное влияние на развитие туризма при условии развитой туристической инфраструктуры и наличия культурных достопримечательностей. В иных случаях влияние высокоскоростного железнодорожного транспорта на динамику доходов от туристической отрасли будет незначительным.

Подводя итог вышесказанному, стоит обратить внимание на логическую последовательность возникающих внешних эффектов от реализации проектов высокоскоростного железнодорожного транспорта.



Источник: составлено авторами

Рис. 2. Механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности

На Рис. 2 представлен механизм образования внешних эффектов от изменения транспортной доступности, обусловленной развитием ВСМ. Прямым результатом реализации ВСМ-проекта является повышение транспортной доступности, обозначающей сокращение времени в пути. В свою очередь, сокращение времени в пути делает поездки более выгодными для пассажиров, что формирует тенденцию к увеличению мобильности населения. Мобильность населения может трансформироваться, как и в увеличение рабочих поездок, так и в увеличение поездок в свободное время (туризм). Следовательно, увеличение количества туристических поездок будет способствовать развитию данной отрасли, что отражается на бюджетных поступлениях, а в долгосрочном периоде – и на создании дополнительных рабочих мест при условии, что данный населенный пункт обладает необходимой туристической инфраструктурой и культурными достопримечательностями.

Благодаря повышению транспортной доступности, высокоскоростной железнодорожный транспорт обеспечивает свободное перемещение населения и факторов производства, способствуя постепенной концентрации ресурсов в городах, подключенных к системе ВСМ. С одной стороны, территориальная концентрация ресурсов является гарантом экономического развития района тяготения высокоскоростной

инфраструктуры. С другой стороны, привлекает и производителей (снижение транспортных расходов, концентрация факторов производства, широкий охват потребителей), и инвесторов (увеличение темпов экономического развития района тяготения), и население (снижение транспортных расходов, высокий спрос на трудовые ресурсы, в том числе и квалифицированных специалистов). Как было отмечено ранее, сочетание высокой плотности населения и территориальной близости является фактором повышения производительности труда. Изменение инвестиционного климата через увеличение количества предприятий и интенсификацию экономической активности, оказывает свое влияние и на стоимость земельных участков, расположенных неподалеку от транспортной инфраструктуры. Увеличение спроса на земельные ресурсы способствует увеличению их стоимости, соответственно, и увеличению национального богатства.

Также стоит отметить двойственный характер взаимосвязи высокоскоростного железнодорожного сообщения и интеграционных транспортных процессов. С одной стороны, высокоскоростное железнодорожное сообщение зачастую используется как платформа для последующего развития мультимодальной транспортной системы, выполняющая роль связующего звена. С другой стороны, эффективность высокоскоростного железнодорожного транспорта напрямую зависит от уровня интеграции всей пассажирской транспортной системы, так как снижение исключительно магистрального времени может не принести ожидаемого эффекта повышения транспортной доступности из-за потери времени в результате смены транспортного средства, либо его длительного ожидания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, реализация проектов высокоскоростного железнодорожного транспорта играет важнейшую роль в устойчивом экономическом развитии, основными аспектами которого являются улучшение научно-технического и инновационного потенциала, повышение эффективности использования ограниченных ресурсов и применение экологичных материалов и технологий. При грамотной региональной политике строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали оптимизирует распределение ресурсов и создает благоприятные условия для долгосрочного экономического развития. Благодаря увеличению транспортной доступности высокоскоростное железнодорожное сообщение способно, как расширить объем предложения рабочей силы, так и сократить стоимость трудовых ресурсов за счет снижения временных затрат, что оказывает влияние не только на развитие отдельных населенных пунктов, но и способствует

усилению агломерационных процессов, то есть формированию единого интегрированного пространства с крепкими экономическими, социальными и культурными связями.

Автор(ы) 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. Victoria Transport Policy Institute [Internet]. Transportation Cost and Benefit Analysis Techniques, Estimates and Implications [Second Edition]: [cited 2020 October 25]. Available from: <https://www.vtpi.org/tca/>.
2. Hansen G.W. Accessibility and residential growth. Massachusetts Institute of Technology, 1959. 92 p. [cited 2020 October 25]. Available from: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/74869/32597665-MIT.pdf?...2>.
3. Gutiérrez J. Transport and Accessibility. International Encyclopedia of Human Geography. 2009:410-417. doi:10.1016/B978-008044910-4.01030-0
4. Banister D, Givoni M. High-Speed Rail in the EU27: Trends, Time, Accessibility and Principles. Built Environment. 2013; 39(3): 324-338.39. doi: 10.2148/benv.39.3.324
5. Изотов Д.А. Экономический рост городов в неоднородном пространстве Китая // Экономика региона. – 2017. – №3. – С. 789–802. [Izotov D.A. Ekonomicheskiy rost gorodov v neodnorodnom prostranstve Kitaya. *Economy of Region*. 2017;7:789-802. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskiy-rost-gorodov-v-neodnorodnom-prostranstve-kitaya>. Ссылка активна на: 25.10.2020.
6. Li SC, Gong J, Deng QH, Zhou TY. Impacts of the Qinghai-Tibet Railway on Accessibility and Economic Linkage of the Third Pole. Article. *Sustainability*. 2018;10(11):17. 3982. doi:10.3390/su10113982
7. Rungskunroch P, Yang Y, Kaewunruen S. Does High-Speed Rail Influence Urban Dynamics and Land Pricing? Article. *Sustainability*. Apr 2020;12(7):18. 3012. doi:10.3390/su12073012
8. Li F, Su Y, Xie JP, Zhu WJ, Wang YH. The Impact of High-Speed Rail Opening on City Economics along the Silk Road Economic Belt. Article. *Sustainability*. Apr 2020;12(8):16. 3176. doi:10.3390/su12083176
9. Charnoz P, Lelarge C, Trevien C. Communication costs and the internal organisation of multi-plant businesses: evidence from the impact of the french high-speed rail. Article; Proceedings Paper. *Economic Journal*. 2018;128(610):949-994. doi:10.1111/eoj.12592
10. Kanasugi H, Ushijima K. The impact of a high-speed railway on residential land prices. Article. *Papers in Regional Science*. 2018;97(4):1305. doi:10.1111/pirs.12293
11. Hensher D, Li Z, Mulley C. The impact of high speed rail on land and property values: A review of market monitoring evidence from eight countries. Review. *Road & Transport Research*. 2012;21(4):3-14.
12. Li XJ, Huang B, Li RR, Zhang YP. Exploring the impact of high speed railways on the spatial redistribution of economic activities - Yangtze River Delta urban agglomeration as a case study. Article. *Journal of Transport Geography*. 2016;57:194-206. doi 10.1016/j.jtrangeo.2016.10.011

13. Yang XH, Lin SL, Zhang JP, He MH. Does High-Speed Rail Promote Enterprises Productivity? Evidence from China. Article. *Journal of Advanced Transportation*. 2019;2019:19. doi:10.1155/2019/1279489
14. Xu WT, Huang Y. The correlation between HSR construction and economic development - Empirical study of Chinese cities. Article. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*. Aug 2019;126:24-36. doi:10.1016/j.tra.2019.05.017
15. Ohta K. The development of Japanese transportation policies in the context of regional-development. *Transportation Research Part a-Policy and Practice*. 1989;23(1):91-101. doi 10.1016/0191-2607(89)90144-1
16. Guo BB, Ke JC. The Impacts of High-speed Rail on Sustainable Economic Development: Evidence from the Central Part of China. Article. *Sustainability*. 2020;12(6):19. doi: 10.3390/su12062410
17. Blanquart C, Koning M. The local economic impacts of high-speed railways: theories and facts. Article. *European Transport Research Review*. 2017;9(2):14. doi: 10.1007/s12544-017-0233-0
18. Chen Z, Kingsley EH. Tourism Industry and High Speed Rail-Is There a Linkage: Evidence from China's High Speed Rail Development. GMU School of Public Policy Research. 2012;14:1-18. doi: 10.2139/ssrn.2130830.
19. Guirao B, Campa JL. Cross effects between high speed rail lines and tourism: looking for empirical evidence using the Spanish case study. Proceedings Paper. *Transport Research Arena Tra2016*. 2016;14:392-401. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.091
20. Jou RC, Chen KH. The Relationship between High Speed Rail and Tourism. Article. *Sustainability*. 2020;12(12):12. doi:10.3390/su12125103

Сведения об авторах:

Романов Алексей Станиславович, аспирант кафедры «Экономика транспорта»

eLibrary SPIN:0000-0000 ORCID: 0000-0001-9088-4361

E-mail: Alexey-95-31@mail.ru

Лякина Мария Анатольевна, кандидат экономических наук, доцент;

eLibrary SPIN:9966-6756; ORCID:0000-0002-1003-5210;

E-mail: malyakina@mail.ru

Information about the authors:

Alexey S. Romanov, post graduate student, Department of Transport Economics

E-mail: Alexey-95-31@mail.ru

Maria Lyakina, Candidate of Economic Sciences, associate professor;

eLibrary SPIN:9966-6756; ORCID: 0000-0002-1003-5210;

E-mail: malyakina@mail.ru

Цитировать:

Романов А.С., Лякина М.А. Механизм образования внешних эффектов от повышения транспортной доступности, обусловленной развитием высокоскоростного железнодорожного сообщения // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 127–142. doi: 10.17816/transsyst202064127-142

To cite this article:

Romanov AS., Lyakina MA. The formation mechanism of external effects of improving transport accessibility caused by high-speed rail development. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):127-142. doi: 10.17816/transsyst202064127-142

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.47-656

DOI 10.17816/transsyst201964143-160

© **М. В. Фёдорова**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ПРОГНОЗ СПРОСА НА ПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫМ ТРАНСПОРТОМ

Обоснование: Проведенный анализ и прогнозируемые перспективы развития Всеволожского муниципального района показывают высокую социально-экономическую значимость данной территории для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Эта территория интенсивно развивается, на ней формируются новые жилые зоны, открываются предприятия, создаются новые рабочие места, организуются рекреационные зоны. Активное жилищное строительство в муниципальных образованиях «Город Всеволожск» и «Заневское сельское поселение» сопровождается существенным ростом численности населения. По прогнозу, в 2041 г. численность населения муниципального образования «Город Всеволожск» превысит 100 тыс. чел., «Заневского сельского поселения» – 180 тыс. чел. Численность населения муниципальных образований Санкт-Петербурга, входящих в зону тяготения линии магнитолевитационного транспорта по направлению «Всеволожск – Санкт-Петербург», в 2041 г. увеличится в 1,4 раза по сравнению с 2015 г., составив 520 тыс. чел. Перечисленные тенденции свидетельствуют о том, что в перспективе будет расти интенсивность движения транспортных потоков и увеличится спрос на пользование магнитолевитационным пассажирским транспортом.

Цель: Ввод в эксплуатацию линий магнитолевитационного транспорта в местах концентрации растущих пассажиропотоков, который будет способствовать сокращению временных затрат в пути, удовлетворению провозной потребности, улучшению качества и роста безопасности поездки при движении по выделенным полосам.

Метод: Мы охарактеризовали существующую транспортную систему обслуживания г. Всеволожска. Обследование пассажиропотоков на автобусных маршрутах, действующих между г. Всеволожском и Санкт-Петербургом проводилось двумя методами в периоды утренних и вечерних пиков, а также в межпиковый период: визуальным методом и табличным методом. В статье дана характеристика неравномерности распределения пассажиропотоков на станции метрополитена «Ладожская» и социально-экономическая характеристика зоны пешеходной доступности остановочных пунктов, определены максимальные пассажиропотоки и потребность в подвижном составе.

Результаты: В качестве основы развития транспортной системы городских агломераций предлагается использовать магнитолевитационный транспорт. Для его эксплуатации необходима специальная скоростная инфраструктура, новый подвижной состав. Иными словами, появляется необходимость разработки и экономической оценки проектов строительства и эксплуатации линий магнитолевитационного

транспорта при формировании и реализации транспортных стратегий городских агломераций современного типа.

Ключевые слова: скоростной городской транспорт, городские транспортные системы, магнитная левитация.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© M. V. Fedorova

Petersburg State Transport University Emperor Alexander I
(St. Petersburg, Russia)

FORECAST DEMAND FOR USE MAGNETIC LEVITATION TRANSPORT

Background: The analysis carried out and the forecasted development prospects of the Vsevolozhsk municipal district show the high socio-economic importance of this territory for St. Petersburg and the Leningrad region. This territory is intensively developing, new residential zones are being formed on it, enterprises are opening, new jobs are being created, and recreational zones are being organized. Active housing construction in the municipalities "City of Vsevolozhsk" and "Zanevskoye rural settlement" is accompanied by a significant increase in the population. According to the forecast, in 2041 the population of the municipal formation "City of Vsevolozhsk" will exceed 100 thousand people, of the "Zanevsky rural settlement" - 180 thousand people. The population of the municipalities of St. Petersburg included in the gravitational zone of the maglev transport line in the direction "Vsevolozhsk - St. Petersburg", in 2041 will increase by 1.4 times compared to 2015, amounting to 520 thousand people. The listed tendencies indicate that in the future the intensity of traffic flows will grow and the demand for the use of maglev passenger transport will increase.

Aim: Putting into operation lines of magneto-transport vehicles in places of concentration of growing passenger flows, which will help to reduce travel time, meet freight requirements, improve the quality and increase travel safety when driving along dedicated lanes.

Method: We have described the existing transport service system in Vsevolozhsk. The survey of passenger traffic on bus routes operating between Vsevolozhsk and St. Petersburg was carried out by two methods during the periods of morning and evening peaks, as well as during the inter-peak period: visual method and tabular method. The article gives a characteristic of the uneven distribution of passenger traffic at the Ladozhskaya metro station and the socio-economic characteristics of the pedestrian accessibility zone of stopping points, identifies the maximum passenger traffic and the need for rolling stock.

Results: As the basis for the development of the transport system of urban agglomerations, it is proposed to use magnetolithic transport. For its operation, a special high-speed infrastructure and a new rolling stock are needed. In other words, there is a need for the development and economic evaluation of projects for the construction and operation of magnetolithic transport lines in the formation and implementation of transport strategies of modern urban agglomerations.

Key words: high-speed urban transport, urban transport systems, magnetic levitation.

ВВЕДЕНИЕ

Главным преимуществом развития сети скоростного пассажирского городского транспорта является резкое сокращение временных затрат на перемещение населения. Данная технология предполагает эффективную сеть городского общественного транспорта с обязательным выделением полос для общественного транспорта. В сложившихся условиях отставания в развитии метрополитена от роста спроса населения на скоростные перевозки, истощения пропускной способности основных магистралей мегаполисов и нехватки провозных возможностей видов общественного транспорта для повышения эффективности и качества транспортного обслуживания является необходимым развитие скоростного городского транспорта.

Мы предлагаем включить в транспортную систему городов *магнитолевитационный транспорт* (МЛТ), который решает основные проблемы существующих видов транспорта:

- Экологическая безопасность. МЛТ обладает самым низким уровнем шумности среди известных видов транспорта. Оказывает минимальное воздействие на окружающую среду, требует незначительной полосы отчуждения [1].

- Безопасность перевозок. Конструкция МЛТ принципиально не подвержена опрокидыванию и сходу с рельс. Транспортная безопасность обеспечивается за счет эстакадного исполнения МЛТ, не имеющего пересечения с другими видами транспорта.

- Низкие инвестиционные затраты. Инфраструктура МЛТ имеет сравнительно низкую капиталоемкость. Малые затраты на землеотведение и выполнение технических условий, в связи с эстакадным исполнением линий МЛТ.

- Низкие эксплуатационные затраты. МЛТ имеет сравнительно малое энергопотребление и требует минимального обслуживания подвижного состава и пути из-за отсутствия трения. МЛТ практически не подвержен износу.

- Высокие эксплуатационные характеристики. Скоростной режим ограничивается только длиной перегонов и количеством остановочных пунктов [2, 3].

К основным факторам, определяющим спрос на пользование магнитолевитационным транспортом (МЛТ), относятся:

- численность населения и количество мест приложения труда;
- уровень жизни населения и развития экономики;
- уровень автомобилизации;
- уровень развития транспортной инфраструктуры;
- затраты на проезд;
- уровень качества транспортного обслуживания.

Численность населения и его подвижность позволяют оценить потенциальный объем спроса на пользование МЛТ.

Явление магнитной левитации в последние десятилетия получило широкое распространение при производстве транспортных колеечных систем. В транспортных средствах на магнитном подвесе сила тяжести уравновешивается силой магнитного поля. Такое транспортное средство в отличие от обычного железнодорожного или автомобильного транспорта не соприкасается с рельсом или дорожным покрытием. Таким образом, в магнитолевитационных системах исключаются потери, возникающие за счет сил трения. Расход энергии определяется затратами на преодоление лобового и магнитного сопротивления, на подъем платформы, разгон и торможение. Основные потери возникают за счет сил аэродинамического сопротивления. Путем правильного выбора формы вагона можно значительно снизить энергопотери [4, 5, 6].

МЛТ является эстакадным видом колеечного транспорта и обладает всеми достоинствами и недостатками эстакадных линий. К его достоинствам относятся, прежде всего, безопасность, экологичность (пониженный уровень шума за счет отсутствия трущихся поверхностей и отсутствие вредных выбросов в атмосферу), скорость и сниженное энергопотребление за счет отсутствия сил трения, а также высокая пропускная способность.

МЛТ имеет низкие показатели энергопотребления. Энергозатраты в среднем в расчете на 1 пасс-км составляют 0,21 кВт/час, что в условиях тарифов для четвертой ценовой группы предприятий Москвы составляет 0,29 руб. Следует отметить, что энергозатраты занимают существенную долю в структуре операционных расходов: в пиковом режиме для рельсового транспорта они существенно превышают среднее значение 29 % [7, 8, 9].

Прогноз потенциального спроса на пользование МЛТ был выполнен на основе:

- существующей и перспективной характеристики зоны тяготения остановочных пунктов МЛТ, представленной в статье [10];
- характеристики существующей транспортной системы обслуживания г. Всеволожска;
- результатов обследования пассажиропотоков на автобусных маршрутах, действующих в г. Всеволожск,
- характеристики пассажиропотоков станции метрополитена «Ладожская» в весенний и летние периоды, в будние и выходные дни,
- развития транспортной системы в зоне влияния линии МЛТ.

ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ Г. ВСЕВОЛОЖСКА

Транспортная система г. Всеволожск представлена:

- социальными и коммерческими автобусными маршрутами, реализующими внутрирайонные корреспонденции пассажиров: №№ 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11.
- социальными и коммерческими автобусными маршрутами, обслуживающими межрайонные корреспонденции пассажиров – к крупным транспортно-пересадочным узлам у станций метрополитена «Ладожская» (№№ 462, 430, 430а, 531) и «Площадь Ленина» (№ 530);
- пригородными электропоездами, следующими от Финляндского вокзала в Ладожском направлении и обеспечивающими подвоз пассажиров к крупным транспортно-пересадочным узлам у станций «Пискаревка» и «Финляндский вокзал»;
- индивидуальным транспортом.

Таблица 1. Транспортная доступность г. Всеволожска

Маршрут пассажирского транспорта		Время в пути в утренний час пик (с 7 до 8 чч.)	Интервал движения
Номер	Начальный – конечный пункты		
Автобус			
462	Углово - Ст. метро «Ладожская»	39 мин.	30 мин
430	г. Всеволожск - Ст. метро «Ладожская»–	33 мин.	20 мин.
430А	г. Всеволожск - Ст. метро «Ладожская»	33 мин	30 мин
531	г. Всеволожск - Ст. метро «Ладожская»	62 мин.	10 мин
530	Ст. метро «Площадь Ленина» – г. Всеволожск	41 мин.	20 мин.
622	г. Всеволожск - Ст. метро «Девяткино»	40 мин.	5 раз в день
625	г. Всеволожск – Черная речка	39 мин	1 раз в день
Линия железной дороги			
	Мельничный ручей – Финляндский вокзал	34 мин.	3 - 4 электрички в час пик
	Невская Дубровка - Финляндский вокзал	33 мин.	
	Ладожское Озеро - Финляндский вокзал	34 мин.	
	Петрокрепость - Финляндский вокзал	34 мин.	
	Кирпичный завод - Финляндский вокзал	35 мин.	
Индивидуальный транспорт			
	Ст. метро "Ладожская» – г. Всеволожск	40 мин.	
	Ст. метро "Площадь Ленина» – г. Всеволожск	45 мин.	

Характеристика транспортной доступности г. Всеволожска представлена в Табл. 1 [11].

Оценка транспортной доступности г. Всеволожска показала, что наиболее надежным видом пассажирского транспорта являются пригородные электропоезда, что обусловлено их прохождением на самостоятельном железнодорожном полотне. Однако большая часть территории города не входит в зону пешеходной доступности (1 км в материалах проектной документации) до железнодорожной станции «Всеволожск». Подвоз населения к ней осуществляют автобусные маршруты городского сообщения. Например, корреспонденции пассажиров из микрорайона «Южный» до станции «Всеволожск», протяженностью 3 км реализует социальный и коммерческий автобусный маршрут № 4 [12].

В связи с этим, развитие МЛТ в г. Всеволожске, трасса которого пройдет через Микрорайон Южный, особенно актуально в настоящее время, что связано с активным градостроительным развитием района, предусматривающим строительство больших объемов жилья.

Проектируемая трасса МЛТ расположена между Колтушским шоссе и шоссе Дорога Жизни. Это определяет зону тяготения нового вида пассажирского транспорта, а также оказывает существенное влияние на перераспределение пассажиропотоков между всеми видами пассажирского транспорта в рассматриваемой зоне на перспективу, а именно: автобусными маршрутами, следующими до ст. «Ладожская» через Колтушское шоссе и шоссе Дорога Жизни, новой линией МЛТ и индивидуальным транспортом [13, 14, 15, 16].

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА АВТОБУСНЫХ МАРШРУТАХ МЕЖДУ г. ВСЕВОЛОЖСКОМ и САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ

Для уточнения расчетных значений пассажиропотоков по трассе МЛТ, по направлению: Санкт-Петербург – г. Всеволожск, было проведено транспортное обследование маршрутов пассажирского транспорта, действующих в рассматриваемой зоне. Обследование проводилось двумя методами в периоды утренних и вечерних пиков, а также в межпиковый период:

- визуальным методом, позволяющим оценить: тип, наполнение и фактическую интенсивность движения подвижного состава пассажирского транспорта;
- табличным методом, позволяющим получить точные данные по пассажиропотокам, определить пассажирооборот остановок по

трассе маршрута, время в пути, время остановки и среднюю скорость сообщения.

Обследование визуальным методом проводилось с помощью элементов фотовидеофиксации. Методология данного обследования основана на визуальном определении степени наполнения транспортного средства по пятибалльной шкале. По результатам данного обследования была получена информация о работе автобусного маршрута № 531, следующего из г. Всеволожска в Санкт-Петербург до станции метрополитена «Ладожская» через Колтушское шоссе. Результаты транспортного обследования показали, что фактическая интенсивность движения подвижного состава автобусного маршрута № 531 составляет 24 ед. в час пик в двух направлениях, в т.ч. 19 автобусов принадлежат категории М2 (автобусы большого и среднего класса марки «ПАЗ» и «Волжанин») и 5 – категории М3 (автобусы особо малого класса марки «Фольксваген»). Интервал движения автобусов на маршруте в утренний час пик составляет 5 мин.

Обследование табличным методом проходило внутри подвижного состава, в котором фиксировались в специально разработанном бланке количество вошедших и вышедших на остановках пассажиров. Данным методом были обследованы автобусные маршруты № 531 (следующий по Колтушскому ш.) и №430 (следующий по ш. Дорога Жизни). Вместимость подвижного состава автобусного маршрута № к531 составляет 25 чел, на маршруте № 531 работают автобусы большой вместимостью 104 чел, на маршруте № 430 – автобусы вместимостью 21 чел.

Результаты обследования представлены в Табл. 2.

Таблица 2. Результаты обследования автобусных маршрутов

№ п/п	Показатели	к531	531	430
Утренний час пик (8ч. – 9 ч.)				
1	Объем перевозок пассажиров <u>за 1 рейс</u> , чел.:			
	- от ст. метро «Ладожская»	28	65	12
	- к ст. метро «Ладожская»	42	83	27
2	Скорость сообщения, км/ч	24	16	31
3	Средняя дальность поездки пассажира, км	14,6	10	15,8
Дневной час пик (13ч. – 14ч.)				
1	Объем перевозок пассажиров <u>за 1 рейс</u> , чел.:			
	- от ст. метро «Ладожская»	17	69	22
	- к ст. метро «Ладожская»	20	66	21
2	Скорость сообщения, км/ч	24	16	21
3	Средняя дальность поездки пассажира, км	15	10,6	16

№ п/п	Показатели	к531	531	430
Вечерний час пик (17ч. – 18ч.)				
1	Объем перевозок пассажиров <u>за 1 рейс</u> , чел.:			
	- от ст. метро «Ладожская»	72	57	28
	- к ст. метро «Ладожская»	23	21	2
2	Скорость сообщения, км/ч	19	14	28
3	Средняя дальность поездки пассажира, км	14,6	10,2	16

Источник: составлено по данным [11]

Для оценки существующего транспортного обслуживания пассажиров г. Всеволожска, следующих в направлении Санкт-Петербурга были получены следующие показатели работы маршрутов:

– *объем перевозок пассажиров за 1 рейс* – показывает количество перевезенных пассажиров на маршруте за 1 рейс, который позволил сделать вывод о том, что средний коэффициент использования вместимости составляет 0,97 (отношение количества фактически перевезенных пассажиров к количеству мест в салоне автобуса), при этом на маршрутах коммерческого транспорта 1,2–1,6, что говорит о высокой производительности автобусов;

– *скорость сообщения* характеризует фактическую скорость, с которой автобус доставляет пассажиров, и определяется отношением длины поездки пассажиров к суммарному времени, затраченному на движение и стоянки на промежуточных остановках. Так средняя скорость сообщения на маршрутах, проходящих через Колтушское ш. составляет 18 км/ч, на маршрутах, следующих по ш. Дорога Жизни – 26 км/ч.

– *средняя дальность поездки* – отношение выполненных пассажиро-километров к количеству перевезенных пассажиров, характеризует расстояние, которое в среднем проезжает пассажир в автобусе. Результаты обследования показали, что средняя дальность поездки пассажиров на социальном и коммерческом маршруте № 531 отличается, что обусловлено разной трассой прохождения маршрутов на территории г. Всеволожск и разной стоимостью проезда.

Результаты обследования пассажиропотоков на маршрутах пассажирского транспорта, действующих между г. Всеволожск и Санкт-Петербургом позволили сделать следующие выводы:

– в утренние часы пик (с 7 ч. до 9 ч.) 70 % от суммарного пассажиропотока в обоих направлениях направлены в Санкт-Петербург, 30 % - в обратном направлении;

– дневное распределение пассажиропотоков составляет 50 % в обоих направлениях;

– в вечерний пиковый период (с 16 ч. 30 мин. до 19 ч.) основной поток пассажиров направлен в г. Всеволожск, что составляет 93 % от суммарного пассажиропотока в обоих направлениях и 7 % - в Санкт-Петербург.

На основе материалов транспортного обследования был выполнен оценочный прогноз пассажиропотоков по трассе МЛТ, а также определены коэффициенты перехода к годовым значениям пассажиропотоков.

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА СТАНЦИИ МЕТРО «ЛАДОЖСКАЯ»

Станция метрополитена «Ладужская» является основным элементом транспортной схемы г. Всеволожска. Она входит в крупный пересадочный комплекс, включающий Ладужский железнодорожный вокзал и остановки пассажирского транспорта: трамвая, автобуса и такси. В настоящее время Ладужский вокзал работает в пригородном сообщении до Волхова, Мги, Невдубстроя, Свири, Кириши и Будогоши и дальнем сообщении: принимает и отправляет пассажирские поезда северных, восточных и южных регионов России. Каждый час услугами Ладужского вокзала пользуются в среднем около 400 человек. Необходимо также отметить, что на территории транспортно-пересадочного узла расположена перехватывающая парковка на 257 машино-мест, предназначенная для временного хранения автотранспорта при условии, что водитель принял решение оставить свое транспортное средство под присмотром и продолжить движение по городу на общественном транспорте (преимущественно, метро). По результатам транспортного обследования дефицит парковочного пространства в зоне тяготения ст. метрополитена «Ладужская» отсутствует.

Распределение пассажиропотоков по дням недели и характерным периодам года на станции метро «Ладужская» представлено на Рис. 1, 2.

Пассажиропоток на станции метрополитена «Ладужская» в выходной день значительно ниже. По данным ГУП «Петербургский Метрополитен» он составляет в среднем 61 % от пассажиропотока буднего дня: в субботу – 66 %, в воскресенье – 57 %.

Пассажиропотоки на станции метрополитена «Ладужская» в летний период отличаются незначительно от пассажиропотоков в осенне-весенний период – на 3 %, что связано с обслуживанием пассажиров, как города, так и Ленинградской области. Значительный спад пассажиропотоков в летние месяцы, связанный с началом периодов отпусков и снижением количества трудовых передвижений, компенсируется началом дачного сезона и увеличением количества культурно-бытовых поездок.

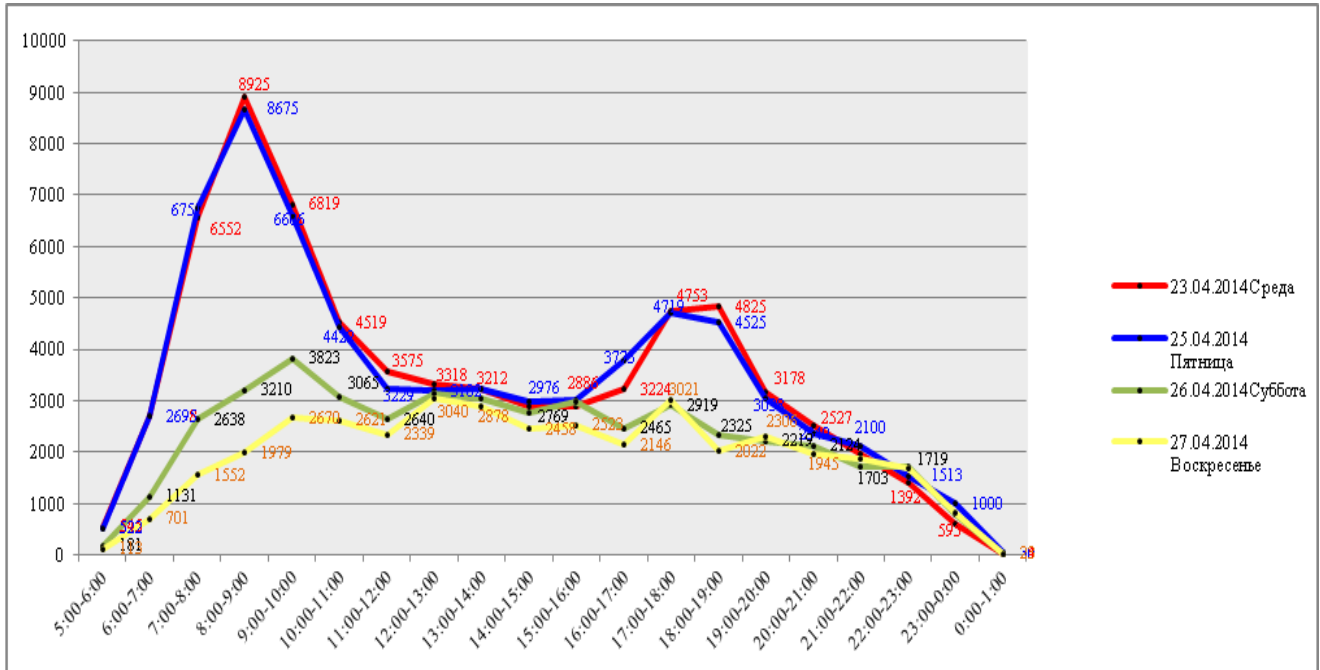


Рис. 1. Динамика изменения пассажиропотоков на входе станции метрополитена «Ладужская» в весенний период, пасс./ч [11]

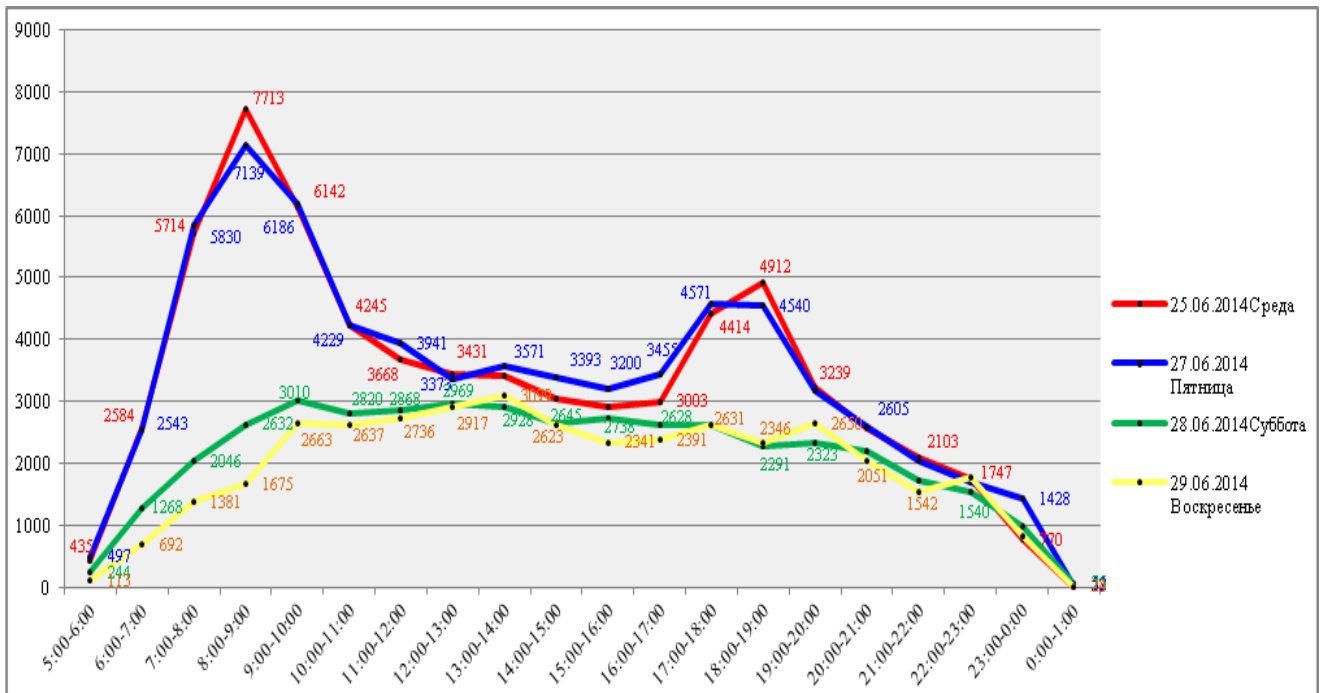


Рис. 2. Динамика изменения пассажиропотоков на входе станции метрополитена «Ладужская» в летний период, пасс./ч [11]

Для оценки распределения пассажиропотоков на станции метрополитена «Ладужская» было выбрано два характерных периода:

весенний – характерный для максимальной нагрузки системы пассажирского транспорта и летний с целью определения коэффициентов перехода расчетных значений пассажиропотоков на МЛТ к годовым значениям (Табл. 3).

Таблица 3. Оценка распределения пассажиропотоков по дням недели и периодам года на станции метро «Ладожская»

Месяц года	День недели	Суточный пассажиропоток на	Доля утреннего пикового периода
Апрель	Среда	68 404	37 %
Июнь		66 107	34 %
Апрель	Пятница	68 362	37 %
Июнь		67 478	33 %
Апрель	Суббота	44 854	24 %
Июнь		42 555	22 %
Апрель	Воскресенье	38 695	18 %
Июнь		39 119	17 %

Источник: ГУП «Петербургский Метрополитен»

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ПЕШЕХОДНОЙ ДОСТУПНОСТИ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ

На прогноз потенциального спроса существенное влияние оказывает дислокация остановочных пунктов. Проектной документацией предусмотрено строительство 8 остановочных пунктов по трассе:

1. Гранитная ул.
2. Станция метрополитена «Ладожская»
3. Индустриальный пр.
4. Ул. Коммуны
5. Бывший аэродром «Ржевка» – 1
6. Бывший аэродром «Ржевка» – 2
7. Аэропортная ул.
8. Колтушское ш.

Социально-экономическая характеристика зоны пешеходной доступности остановочных пунктов представлена в Табл. 4.

Оценка расположения остановочных пунктов по трассе МЛТ показала, что в зону пешеходной доступности до остановок МЛТ (1 км в материалах проектной документации) входят искусственные преграды: путепровод в створе Российского пр. и железнодорожные пути вдоль ул. Коммуны. Наличие искусственных преград существенно влияет на пешеходное движение: значительно увеличивает время на передвижение, снижает уровень комфортности и отрицательно влияет на безопасность.

Таблица 4. Характеристика территории в зоне непосредственного тяготения трассы МЛТ

Муниципальный округ	Население, чел.							
	2015 год							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Остановка МЛТ								
МО № 55 "Невский"	0	0	0	0	0	0	0	0
МО № 57 "Правобережный"	2 600	5 700	11 950	0	0	0	0	0
МО № 35 "Пороховые"	0	0	15 700	0	0	0	0	0
МО № 34 "Малая Охта"	17 000	5 050	0	0	0	0	0	0
МО № 36 "Ржевка"	0	0	0	0	0	0	0	0
Заневское поселение	0	0	0	250	0	0	0	0
Всеволожск	0	0	0	0	0	0	13 900	12 300
Бывший аэродром «Ржевка»	0	0	0	0	0	0		
Всего	19 600	10 750	27 650	250	0	0	13 900	12 300
	2021 год							
МО № 55 "Невский"	0	0	0	0			0	0
МО № 57 "Правобережный"	3 100	6 900	14 500	0			0	0
МО № 35 "Пороховые"	0	0	16 900	0			0	0
МО № 34 "Малая Охта"	18 350	5 450	0	0			0	0
МО № 36 "Ржевка"	0	0	0	0			0	0
Заневское поселение	0	0	0	1 900			0	0
Всеволожск	0	0	0	0			16 350	14 450
Бывший аэродром «Ржевка»	0	0	0	0	4 000	1 000	0	0
Всего	21 450	12 350	31 400	1 900	4 000	1 000	16 350	14 450
	2030 год							
МО № 55 "Невский"	0	0	0	0	0	0	0	0
МО № 57 "Правобережный"	3 750	8 250	17 350	0	0	0	0	0
МО № 35 "Пороховые"	0	0	18 700	0	0	0	0	0
МО № 34 "Малая Охта"	20 300	6 000	0	0	0	0	0	0
МО № 36 "Ржевка"	0	0	0	0	0	0	0	0
Заневское поселение	0	0	0	3 400	0	0	0	0
Всеволожск	0	0	0	0	0	0	19 000	16 850

Бывший аэродром «Ржевка»	0	0	0	0	8 000	2 000	0	0
Всего	24 050	14 250	36 050	3 400	8 000	2 000	19 000	16 850
	2041 год							
МО № 55 "Невский"	0	0	0	0	0	0	0	0
МО № 57 "Правобережный"	3 800	8 300	17 550	0	0	0	0	0
МО № 35 "Пороховые"	0	0	22 250	0	0	0	0	0
МО № 34 "Малая Охта"	24 200	7 150	0	0	0	0	0	0
МО № 36 "Ржевка"	0	0	0	0	0	0	0	0
Заневское поселение	0	0	0	4 750	0	0	0	0
Всеволожск	0	0	0	0	0	0	22 900	20 250
Бывший аэродром «Ржевка»	0	0	0	0	17 600	4 400	0	0
Всего	28 000	15 450	39 800	4 750	17 600	4 400	22 900	20 250
	2045 год							
МО № 55 "Невский"	0	0	0	0	0	0	0	0
МО № 57 "Правобережный"	3 800	8 350	17 600	0	0	0	0	0
МО № 35 "Пороховые"	0	0	22 350	0	0	0	0	0
МО № 34 "Малая Охта"	24 300	7 200	0	0	0	0	0	0
МО № 36 "Ржевка"	0	0	0	0	0	0	0	0
Заневское поселение	0	0	0	4 850	0	0	0	0
Всеволожск	0	0	0	0	0	0	24 500	21 650
Бывший аэродром «Ржевка»	0	0	0	0	22 400	5 600	0	0
Всего	28 100	15 550	39 950	4 850	22 400	5 600	24 500	21 650

Источник: составлено по данным [12]

В связи с наличием альтернативных пешеходных подходов к транспортным системам обслуживания населения города, в зону пешеходной доступности не вошли следующие территории:

- жилые кварталы Невского района, расположенные за путепроводом в створе Российского пр. от трассы МЛТ, так как транспортное обслуживание населения этой зоны осуществляют автобусные маршруты городского пассажирского транспорта: №№ 164, 169, 163 и 102 и станция метрополитена «Проспект Большевиков»;
- Муниципального округа № 35 «Пороховые», расположенного за железнодорожными путями вдоль ул. Коммуны от остановки МЛТ, так как транспортное обслуживание населения этой зоны осуществляется маршрутами городского пассажирского транспорта.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ПАССАЖИРОПОТОКОВ И ПОТРЕБНОСТИ В ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

В рамках данного раздела был выполнен оценочный расчет максимальных пассажиропотоков и потребности в подвижном составе на 2021, 2030 и 2041 гг., представленные в Табл. 5.

Таблица 5. Транспортно-эксплуатационная характеристика маршрута линии магнитолевитационного транспорта по направлению «Всеволожск – Санкт-Петербург»

Год	Показатели				
	Максимальный пассажиропоток, чел./час	Рекомендуемый интервал движения, мин.	Количество подвижного состава, ед.	Списочное количество подвижного состава, ед.	Объем перевозок пассажиров, тыс. чел. в год
2021	3500	5	15	17	13 823
2022	3600	5	16	17	14 204
2023	3750	5	16	18	14 596
2024	3850	5	17	18	14 999
2025	3950	5	17	19	15 413
2026	4050	4	18	19	15 838
2027	4200	4	18	20	16 276
2028	4300	4	19	21	16 725
2029	4400	4	19	21	17 186
2030	4500	4	20	22	17 663
2031	4600	4	20	22	18 082
2032	4750	4	21	23	18 511
2033	4850	4	21	23	18 949
2034	5000	4	22	24	19 398
2035	5100	4	22	25	19 858

Год	Показатели				
	Максимальный пассажиропоток, чел./час	Рекомендуемый интервал движения, мин.	Количество подвижного состава, ед.	Списочное количество подвижного состава, ед.	Объем перевозок пассажиров, тыс. чел. в год
2036	5250	3	23	25	20 329
2037	5350	3	23	26	20 811
2038	5500	3	24	26	21 304
2039	5600	3	24	27	21 809
2040	5700	3	25	27	22 326
2041	5850	3	25	28	22 848
2042	5950	3	26	29	23 221
2043	6100	3	27	29	23 599
2044	6200	3	27	30	23 984
2045	6350	3	28	30	24 372

Источник: составлено по данным [12]

Потребность в подвижном составе для обеспечения работы МЛТ была определена на основе: расчетных значений пассажиропотоков, характеристики маршрута: протяженности, скорости сообщения и вместимости подвижного состава, предусмотренной проектной документацией (280 пассажиров).

На первом этапе расчета определялся рациональный интервал движения для освоения максимального часового пассажиропотока по формуле:

$$d = 60 * q / Q, \quad (1)$$

где d – интервал движения, мин.;

Q – наибольшее по двум направлениям значение пассажиропотока в течение суток, пасс./час;

q – вместимость подвижного состава на маршруте, пасс.

Далее определялось количество подвижного состава (A) для обслуживания линии МЛТ, исходя из определенного интервала движения:

$$A = t / d, \quad (2)$$

где t – время оборотного рейса транспортного средства на маршруте с учетом времени отстоя, мин.;

d – интервал движения, мин.

Данные расчеты выполнены с учетом максимальной нагрузки на сеть городского пассажирского транспорта. Максимальные пассажиропотоки на маршрутах пассажирского транспорта характерны для утренних периодов работы маршрутов, когда основная часть пассажиров совершает передвижения с трудовыми или учебными целями. Количество подвижного состава характеризует количество технически исправного подвижного состава, работающего на маршруте, необходимого для обслуживания расчетного пассажиропотока. Списочное количество подвижного состава, закрепленного за маршрутом, учитывает резерв и коэффициент выпуска на линию технически исправных транспортных средств.

Прогноз потенциального спроса на пользование МЛТ был выполнен на основе анализа и прогноза социально-экономического развития зоны тяготения линии МЛТ, анализа существующих пассажиропотоков. При прогнозировании спроса учитывались особенности пассажиропотоков в будние и выходные дни, в течение суток.

В 2021 г. объем перевозок пассажиров МЛТ составит 13,8 млн чел., в 2041 г. – 22,8 млн чел. (Табл. 5).

Таким образом, потенциальный спрос на пользование МЛТ в 2041 г. увеличится в 1,7 раза по сравнению с 2021 г. и в 2045 г. – 1,76 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Планируемая МЛТ от Санкт-Петербурга до Всеволожска, проходит через территории массовой жилищной застройки и обеспечивающей связи пассажиров со станцией метрополитена «Ладожская». Целью внедрения этой линии МЛТ является улучшение транспортного обслуживания и снижение затрат времени на поездки населения города Всеволожск за счет обеспечения скоростных сообщений, повышения технического уровня подвижного состава и остановок МЛТ, что существенно влияет на комфортность передвижения пассажиров. Кроме этого, внедрение линии МЛТ позволит переключить пользователей легковых автомобилей на линию МЛТ, что уменьшит загрязнение окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Городской транспорт энергоэффективность, экологически устойчивый транспорт: сборник материалов для политических деятелей в развивающихся городах. – Берлин: GIZ, 2013. – 99 с. [Gorodskoy transport energoeffektivnost', ekologicheski ustoychivyy transport: sbornik materialov dlya politicheskikh deyateley v razvivayushchikhsya gorodakh. Berlin: GIZ; 2013. 99 p. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 01.10.2020. Доступно по: <http://greenlogic.by/content/files/dad357e3aecdd74d42c89c14e4d4fb872.pdf>

2. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны: монография – СПб: Типография НП-Принт, 2015. – 140 с. [Zaitsev AA. Magnitolevitatsionnyy transport in a single transport system of the country: monograph. St. Petersburg: NP-Print; 2015. 140 p. (In Russ.)].
3. Зайцев А.А., Соколова Я.В., Талашкин Г.Н. Транспорт на магнитном подвесе (монография). – СПб: ПГУПС, 2010. – 160 с. [Zaitsev AA, Sokolova YaV, Talashkin GN. Transport na magnitnom podvese (monograph). St. Petersburg: PGUPS; 2010. 160 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004907216>. Ссылка активна на: 02.11.2020.
4. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 612 с. [Zaitsev AA, Antonov YuF, editors. Magnitolevitatsionnyy transport: nauchnye problemy i tekhnicheskie resheniya. Moscow: FIZMATLIT; 2015. 612 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://b-ok.org/book/2910926/a2ce27>. Ссылка активна на: 02.10.2020.
5. Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» / под ред. Б.М. Лapidуса и С.Б. Нестерова. – М.: ООО «РАС», 2017. – 192 с. [Lapidus BM, Nesterov SB, editors. Vakuumno-levitatsionnyye transportnyye sistemy: nauchnaya osnova, tekhnologii i perspektivy dlya zheleznodorozhnogo transporta: kollektivnaya monografiya chlenov i nauchnykh partnerov Ob"yedinonnogo uchonogo soveta ОАО "RZHD". Moscow: RAS; 2017. 192 p. (In Russ.)].
6. 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., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2017315-13
7. Shanghai maglev – all you need to know maglev.net [cited 2017 Sept. 12]. Available from: <http://www.maglev.net/shanghai-maglev>
8. Vuchic VR, Casello JM. An evaluation of Maglev technology and its comparison with high speed rail Transportation Quarterly [cited 2017 Sept. 13]. Available from: <http://www.thetransitcoalition.us/LargePDFfiles/maglevEvalandComparisonHSR.pdf>
9. FTA Low-Speed Urban Maglev Research Program [cited 2017 Sept. 13]. Available from: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/FTALowSpeedLessonsLearned.pdf> (13/09/2017).
10. Федорова М. В. Обоснование строительства магнитолевитационной трассы Санкт-Петербург-Всеволожск / Сборник научных статей VII международной научно-практической конференции «Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем». 19 декабря 2019 года; СПб. Под ред. Журавлевой Н.А. Киров: ООО "МЦНИП", 2019. – С. 822–827. [Fedorova MV. Obosnovaniye stroitel'stva magnitolevitatsionnoy trassy Sankt-Peterburg-Vsevolozhsk / Sbornik nauchnykh statey VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Razvitiye ekonomicheskoy nauki na transporte: ekonomicheskaya osnova budushchego transportnykh sistem». 19 dekabrya 2019 goda; SPb. Pod red. Zhuravlevoy N.A. Kirov: ООО "MTSNIP", 2019. – S. 822–827. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42684294>. Ссылка активна на 10.11.2020.
11. Официальный сайт города Всеволожска [Oficial'nyj sajt goroda Vsevolozhska [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <http://www.vsevolozk.ru/>. Ссылка активна на: 12.09.2020.

12. АНО «Дирекция по развитию транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области» Отчёт «Анализ перспективного пассажиропотока и разработка тарифной политики по линии легкого рельсового транспорта по направлению Всеволожск – Санкт-Петербург». – 2015. [ANO «Direktsiya po razvitiyu transportnoy sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti» Otchet «Analiz perspektivnogo passazhiropotoka i razrabotka tarifnoy politiki po linii legkogo rel'sovogo transporta po napravleniyu Vsevolozhk – Sankt-Peterburg». – 2015. (In Russ.)].
13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р [Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g.: utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22.11.2008 g. № 1734-r. [Internet]. (In Russ)]. Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008. Дата обращения: 12.10.2020.
14. Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга 2017–2038 гг. (перспектива до 2048 г.) [Kontseptsiya razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga 2017-2038 gg. (perspektiva do 2048g.) [Internet]. (In Russ)]. Режим доступа: <http://krti.gov.spb.ru/kontsepciya-razvitiya-transportnoj-sistemy-sankt-peterburga/>. Дата обращения: 12.11.2020.
15. Техническое задание на разработку Стратегии развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года [Tekhnicheskoye zadaniye na razrabotku Strategii razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti na period do 2030 goda [Internet]. (In Russ)]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/27602974-Tekhnicheskoe-zadanie-na-razrabotku-strategii-razvitiya-transportnoy-sistemy-sankt-peterburga-i-leningradskoy-oblasti-na-period-do-2030-goda.html>. Дата обращения: 07.11.2020.
16. Стратегия социально-экономического развития Ленинградской области до 2030 года от 13 июля 2016 года. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Leningradskoy oblasti do 2030 goda ot 13 iyulya 2016 goda [Internet]. (In Russ)]. Режим доступа: http://lenoblinvest.ru/images/Strategy_2030.pdf Дата обращения: 16.10.2020.

Сведения об авторе:

Фёдорова Мария Владимировна, к.э.н., старший преподаватель кафедры «Экономика транспорта»;

eLibrary SPIN-1518-7831; ORCID: 0000-0003-2740-573X;

E-mail: tale19quale@mail.ru

Information about the author:

Maria V. Fedorova, PhD Economics, Senior Lecturer of Department of Economic of Transport; eLibrary SPIN-1518-7831; ORCID: 0000-0003-2740-573X;

E-mail: tale19quale@mail.ru

Цитировать:

Фёдорова М.В. Прогноз спроса на пользование магнитолевитационным транспортом // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 143–160. doi: 10.17816/transsyst202064143-160

To cite this article:

Fedorova MV. Forecast of Demand for the Use of Maglev Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):143-160. doi: 10.17816/transsyst202064143-160

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.314.212:620.111.3
DOI 10.17816/transsyst202064161-171

© В. Т. Черемисин, А. А. Кузнецов, М. А. Волчанина, А. В. Горлов
Омский государственный университет путей сообщения
(Омск, Россия)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ИМИТАТОРА ДЕФЕКТОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Обоснование: В статье приведено описание устройства имитации дефектов для совместного использования с системами акустического контроля высоковольтных трансформаторов.

Цель: экспериментальные исследования мобильного устройства имитации дефектов силовых трансформаторов; определить параметры импульсов, имитирующих различные дефекты изоляции

Методы: разработка технических средств имитации дефектов изоляции; экспериментальные исследования; определение параметров сигналов, имитирующих дефекты.

Результаты: приведена структурная схема устройства имитации дефектов; проведены экспериментальные исследования устройства имитации дефектов; рассчитана мощность импульсов, имитирующих различные дефекты изоляции высоковольтных трансформаторов.

Заключение: Предложенное устройство вырабатывает высоковольтные импульсы, имитирующие различные дефекты изоляции высоковольтных трансформаторов. Приведены параметры акустических сигналов.

Ключевые слова: высоковольтные трансформаторы, диагностирование изоляции, акустический метод, устройство имитации дефектов, параметры сигналов.

Rubric 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical Engineering

© V. T. Cheremisin, A. A. Kuznetsov, M. A. Volchanina, A. V. Gorlov
Omsk State Transport University (OSTU)
(Omsk, Russia)

MEASURING THE ACOUSTIC SIGNALS PARAMETERS OF THE DEFECT SIMULATOR OF POWER TRANSFORMERS

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90231 [Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-38-90231].

Background: The article describes a device for simulating defects for use with acoustic control systems for high-voltage transformers.

Aim: experimental research of a mobile device for imitation of power transformer defects; determine the parameters of impulses simulating various insulation defects

Methods: development of technical means for imitation of insulation defects; experimental research; determination of parameters of signals simulating defects.

Results: a block diagram of a device for imitating defects is shown; experimental studies of the device for imitating defects were carried out; the power of pulses simulating various defects in the insulation of high-voltage transformers was calculated.

Conclusion: The proposed device generates high-voltage pulses that simulate various defects in the insulation of high-voltage transformers. The parameters of acoustic signals are given.

Key words: high-voltage transformers, traction power supply, insulation parameters diagnostics of high voltage transformers, acoustic method, partial discharges, device for imitation defects, signal parameters.

ВВЕДЕНИЕ

При диагностировании силовых трансформаторов в системе электроснабжения железных дорог используется достаточно большое количество методов электрического и неразрушающего контроля. Применение акустических методов позволяет выполнить локацию мест возникновения и наличия дефектов изоляции при работе силовых трансформаторов [1–3]. Применение средств акустического контроля существенно повышает достоверность и быстродействие применяемого в настоящее время хроматографического метода контроля растворенных газов в трансформаторном масле.

Проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы выявил наличие большого количества работ, посвященных методам и способам диагностирования высоковольтного оборудования [5–15].

Недостатками применяемых акустических методов при контроле трансформаторов и другого высоковольтного оборудования является распознавание вида контролируемого дефекта и локация места его положения.

При помощи метода акустического контроля возможна регистрация частичных разрядов (ЧР), регистрация их количества в единицу времени, регистрация амплитуд, формы сигналов и других параметров. По каждому событию возможен визуальный анализ, подтверждающий наличие именно ЧР и их параметров. Кроме того по разности времени прихода сигналов к датчикам акустической антенны, установленных на корпусе трансформатора, возможно установление координат предполагаемого места возникновения ЧР.

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Для устранения указанных выше недостатков было предложено использование устройства имитации дефектов в маслонаполненном оборудовании [1]. При использовании устройства имитации дефектов в методике акустического контроля измерения параметров акустических сигналов выполняются в одинаковых условиях на имитаторе и контролируемом оборудовании. Снижаются дополнительные погрешности, вызываемые влиянием окружающей среды и возможные изменения коэффициентов усиления измерительного тракта в различные интервалы времени при проведении контроля.

Структурная схема устройства имитации дефектов представлена на Рис. 1.

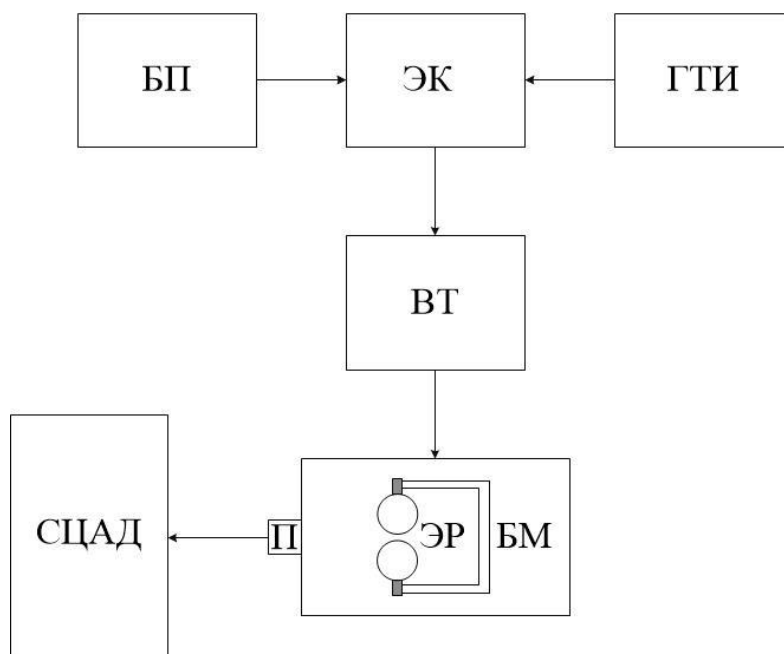


Рис. 1. Структурная схема устройства имитации дефектов

БП – блок питания;

ЭК – электронный коммутатор;

ГТИ – генератор тактовых импульсов;

ВТ – высоковольтный трансформатор;

СЦАД – система цифровая акустико-эмиссионная диагностическая;

П – преобразователь акустический;

ЭР – электрический разрядник;

БМ – бак маслонаполненный.

Устройство вырабатывает высоковольтные импульсы, имитирующие различные дефекты изоляции высоковольтных трансформаторов. Электронный коммутатор (ЭК) подает на высоковольтный трансформатор (ВТ) постоянное напряжение с задержкой, формируемой конденсатором в его составе. На электрический разрядник (ЭР) поступают высоковольтные

импульсы с частотой, вырабатываемой генератором тактовых импульсов (ГТИ) в интервале от 0 до 10 кГц. Электрический разрядник может работать в различных средах – воздух или трансформаторное масло.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На Рис. 2 показана схема расположения электрического разрядника в масляном баке. Для дозирования мощности разряда выполнялось регулирование постоянного напряжения БП и расстояние между электродами ЭР – Δn при помощи регулирующего механизма на кронштейне 4.

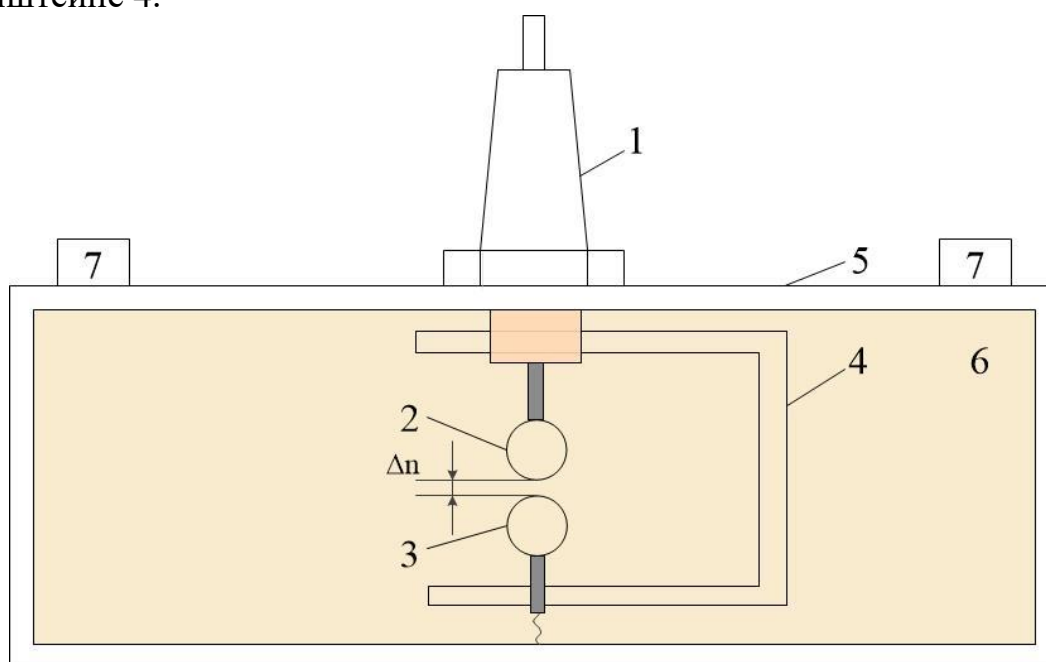


Рис. 2. Схема расположения электрического разрядника в масляном баке

- 1 – изолятор;
- 2, 3 – электроды;
- 4 – кронштейн;
- 5 – корпус маслonaполненного бака;
- 6 – трансформаторное масло;
- 7 – преобразователь акустический.

Корпус имитатора дефектов выполнен из стали и к нему подключен один из электродов разрядника ЭР и нулевой потенциал БП. Колебания звуковой волны воспринимают четыре акустических преобразователя П, представляющих собой акустическую антенну.

Схема расположения преобразователей акустических и электрического разрядника на верхней крышке устройства приведена на Рис. 3.

На Рис. 3 приведены следующие параметры устройства: $L_0=8$ см – расстояние от акустического преобразователя АП₀ до электрического

разрядника; $L_1=18$ см – расстояние от акустического преобразователя Π_1 до электрического разрядника; $L_2=28$ см – расстояние от акустического преобразователя Π_2 до электрического разрядника; $L_3=23$ см – расстояние от акустического преобразователя Π_3 до электрического разрядника.

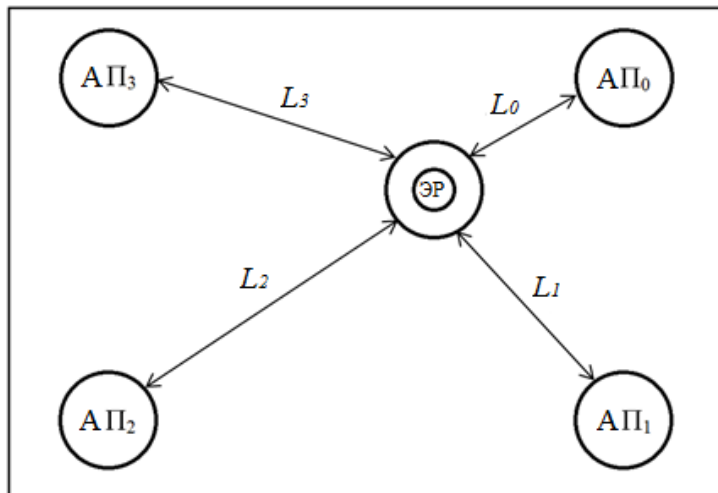


Рис. 3. Схема расположения преобразователей акустических и электрического разрядника

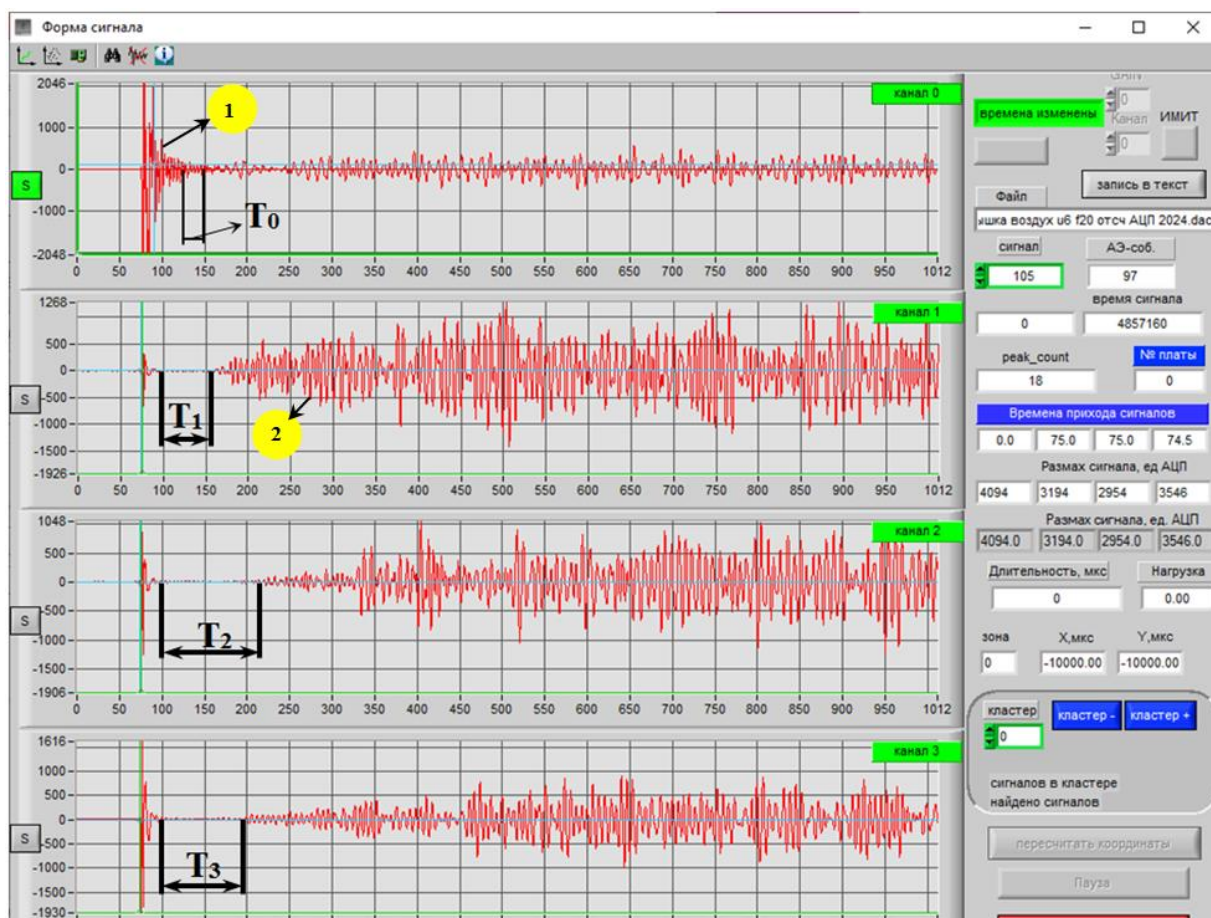


Рис. 4. Сигналы от четырех акустических преобразователей

Акустические преобразователи АП₀ – АП₃ располагали на верхней крышке устройства имитации дефектов на различном расстоянии $L_0 – L_3$ от ЭР. При помощи системы акустической типа СЦАД-16 были зарегистрированы импульсы различной мощности при различной частоте следования, представленные на Рис. 4–6.

На Рис. 4 показаны сигналы от четырех АП. Сигнал представлен двумя областями: высокочастотный импульс 1 при возникновении электрического разряда и низкочастотные колебания корпуса отраженных волн – 2. Из рисунка так же хорошо видна разность времен прихода (РВП) $T_0 – T_3$ для преобразователей с разными координатами $L_0 – L_3$. При этом изменяются мощность электрического разряда, имитирующего дефект. Электрические разряды пропадают при выходном напряжении БП $U = 3$ В и усиливаются до максимального значения при $U_{п} = 15$ В.

На Рис. 5–6 показаны сигналы, различной мощности, сформированные при изменении выходного напряжения на БП.

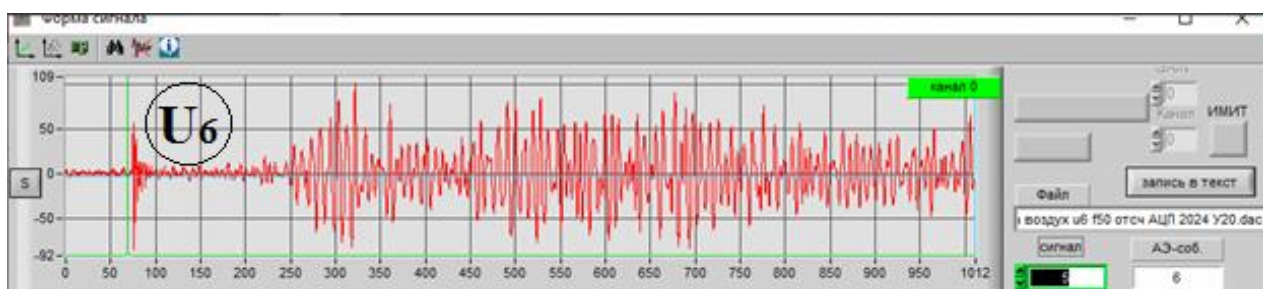


Рис. 5. Сигнал от акустического преобразователя
($U = 6$ В; $f = 50$ Гц; $k_y = 20$; отсч. АЦП = 2024; $T_k = 1012$ мкс)

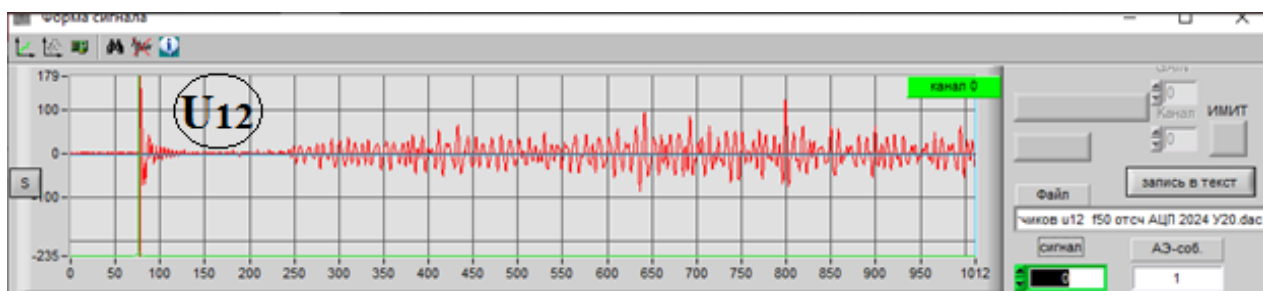


Рис. 6. Сигнал от акустического преобразователя
($U = 12$ В; $f = 50$ Гц; $k_y = 20$; отсч. АЦП = 2024; $T_k = 1012$ мкс)

Мощность импульса, ограниченного временным окном $T = 60$ мкс определялась по формуле:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt. \quad (1)$$

Число отсчетов АЦП для указанного окна составляло 120 ед.

Для двух сигналов приведенных на Рис. 5, 6 были получены значения $P_6 = 26,9$ ед.; $P_{12} = 62,8$ ед. соответственно. Таким образом, можно сделать вывод, что эти параметры можно использовать для оценки мощности разрядов диагностируемого оборудования.

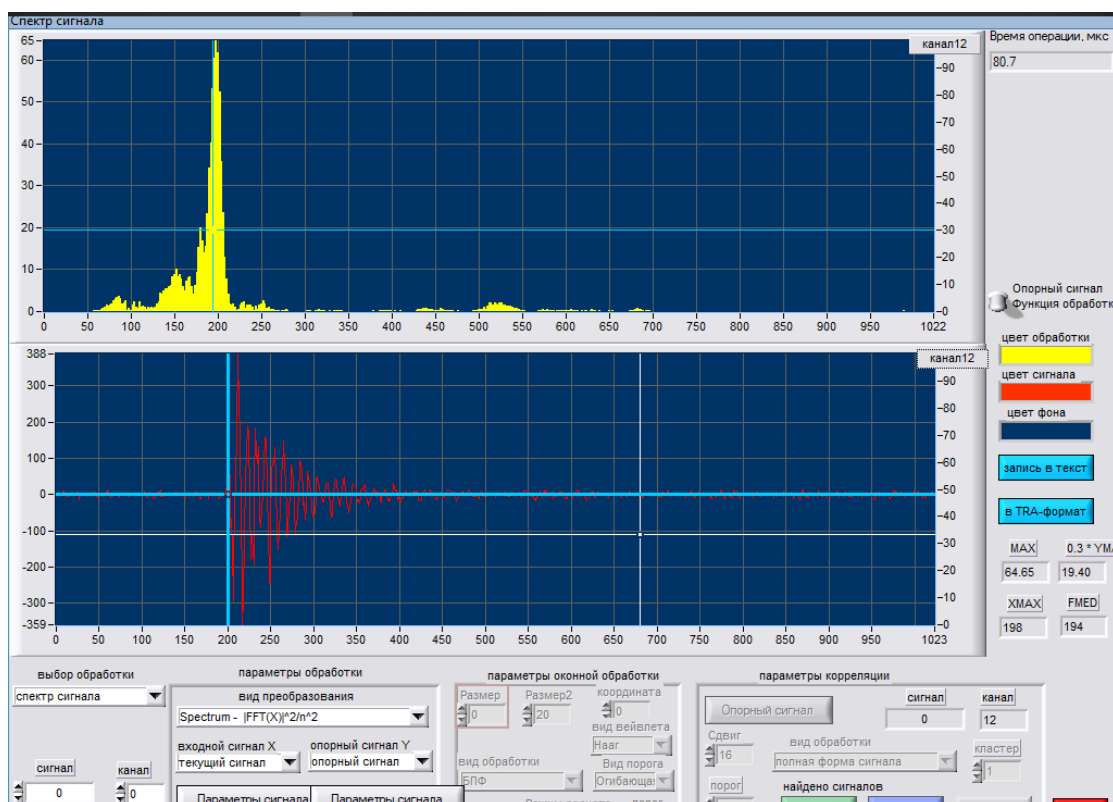


Рис. 7. Временной сигнал акустического импульса и его спектр ($U = 12$ В; $f = 100$ Гц; $k_y = 20$; отсч. АЦП = 2024; $T_k = 1023$ мкс)

Совместное использование имитатора дефектов со средствами контроля позволит с большей достоверностью распознавать тип дефекта и его мощность.

Таблица. Измеренные параметры акустических сигналов

Напряжение U , В	Частота следования эл. имп. F , Гц	Размах амплитуд, ед.	Средняя частота акуст. импульсов $f_{ср}$, кГц	Мощность импульса P , ед.
3	50	86	217	12,1
6		149	223	26,9
9		283	209	43,3
12		414	201	62,8
3	100	94	325	16,7
6		168	313	30,1
9		502	218	82,4
12		747	207	103,2

РЕЗУЛЬТАТЫ

Приведена информация по разработке и экспериментальным исследованиям устройства имитации дефектов изоляции высоковольтных трансформаторов. Показаны осциллограммы с формой импульсов для различной мощности электрических разрядов. Приведены количественные значения сигналов, измеренные акустическим методом, имитирующие дефекты с различной мощностью.

ВЫВОДЫ

Применение представленного устройства позволит сопоставлять сигналы, измеренные на высоковольтном оборудовании с сигналами имитатора, что позволит повысить достоверность контроля и принятия правильных решений об их техническом состоянии.

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. Кузнецов А.А., Кузьменко А.Ю., Кузнецова М.А., Симаков А.В. Определение пороговых значений при диагностировании изоляции высоковольтного оборудования методами регистрации частичных разрядов. // Омский научный вестник. – 2019. – №2(164). – С. 30–35. [Kuznetsov AA, Kuzmenko AYu., Kuznetsova MA, Simakov AV. Opredelenie porogovih znachenii pri diagnostirovani izolii visokovoltogo oborudovaniya metodami registracii chastichnih razriadov. *Omskii nauchiy vestnik*, 2019;2(164):30-35. (In Russ.)]. Доступно по: http://vestnik.omgtu.ru/images/stories/arhiv/2019/pmt/2_164_2019/30-35.pdf. Ссылка активна на: 07.12.2020.
2. Taha IBM, Dessouky SS, Ghaly RNR, Ghoneim SSM. Enhanced partial discharge location determination for transformer insulating oils considering allocations and uncertainties of acoustic measurements. *Alexandria Engineering Journal*; 2020, 12 p. [Internet]. [cited 2020 Dec 07]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820304282>.
3. МУ 1.3.3.99.0038-2009 Диагностика силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов. Методические указания ОАО «Концерн Росэнергоатом» № 126, 2009. – 73 с. [Diagnostika silovykh transformatorov, avtotransformatorov, shuntiruiushchikh reaktorov i ikh vvodov. Metodicheskie ukazaniia ОАО “Kontserna Rosenergoatom”. 2009:126:73 (In Russ.)]. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293724/4293724794.pdf>
4. Markalous SM, Tenbohlen S, Feser K. Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals. *IEEE Transactions on*

- Dielectrics and Electrical Insulation*. 2008;15:1576-1583 [Internet]. [cited 2020 Dec 07]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4712660>.
5. Шахнин В.А., Чебрякова Ю.С., Мироненко Я.В. Статистические характеристики частичных разрядов как диагностические признаки состояния изоляции высоковольтного оборудования // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 2. – С. 59–65. [Shakhnin VA, Chebryakova YuS, Mironenko YaV. Statisticheskie harakteristiki chastichnih razriadov kak diagnosticheskie priznaki sostoyaniay izoliacii visokovoltnogo oborudovaniya: *Kontrol. Diagnostika*, 2015; 2: 59-65. (In Russ)]. Доступно по: <http://www.td-j.ru/index.php/archive/529-059-065/>. Ссылка активна на: 07.12.2020.
 6. Strachan SM, Rudd S, McArthur SDJ, et al. Knowledge-based diagnosis of partial discharges in power transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2008;15:259-268 [Internet]. [cited 2020 Dec 07]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/3341015_Knowledge-based_diagnosis_of_partial_discharges_in_power_transformers.
 7. Вдовико В.П. Характеристики частичных разрядов и их применение в оценке качества электрической изоляции высоковольтного оборудования // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2005. – № 5. – С. 23–26. [Vdoviko VP. Kharakteristiki chastichnykh razryadov i ikh primeneniye v otsenke kachestva elektricheskoi izolyatsii vysokovoltnogo oborudovaniya. *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost*, 2005;5:23-26. (In Russ.)]. Доступно по: <https://readera.org/read/142173958>. Ссылка активна на: 07.12.2020.
 8. Ермаков Е.Г. Методика измерения частичных разрядов в изоляции силовых трансформаторов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2009. – № 2(78). – С. 47–52. [Ermakov EG. Metodika izmereniya chastichnykh razryadov v izolyatsii silovykh transformatorov. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*, 2009;2(78):47-52. (In Russ.)]. Доступно по: https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/volume/N2_78_2009.PDF Ссылка активна на: 07.12.2020.
 9. Максудов Д.В., Федосов Е.М. Методы селекции сигналов частичных разрядов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2009. – № 2 (12). – С. 138–143. [Maksudov DV, Fedosov EM. Metody seleksii signalov chastichnykh razryadov. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009;2(12):138-143. (In Russ.)]. Доступно по: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/Vestnik/article/view/1241/1078>. Ссылка активна на: 07.12.2020.
 10. Lopez-Roldan J, Tang T, Gaskin M. Optimisation of a sensor for onsite detection of partial discharges in power transformers by the UHF method. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*; 2008;15:1634-1639 [Internet]. [cited 2020 Dec 07]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4712667>.
 11. Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Девятков Д.Х., и др. Диагностирование силовых трансформаторов методом акустической локации частичных разрядов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – №1(37). – С. 105–108. [Karandaev AS, Evdokimov SA, Devyatov DH., et al. Diagnostirovanie silovykh transformatorov metodom akusticheskoi lokatsii chastichnykh razriadov. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, 2012; 1(37): 105-108. (In Russ.)]. Доступно по: http://vestnik.magtu.ru/images/data_base/2012_1/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%8

- 2%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2012_1_%D1%81_105-108.pdf Ссылка активна на: 07.12.2020.
12. Фазуллин С.Р. Диагностика силовых трансформаторов методом измерения частичных разрядов // Теория и практика высоких технологий в промышленности. Сборник статей международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 96–98. [Fazullin SR. Diagnostika silovykh transformatorov metodom izmereniia chastichnykh razriadov. *Teoriia i praktika vysokikh tekhnologii v promyshlennosti. Sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2017:96-98. (In Russ.)]. Доступно по: Ссылка активна на: <https://docplayer.ru/78608179-Teoriya-i-praktika-vysokih-tehnologiy-v-promyshlennosti.html> 07.12.2020.
 13. Bartnikas R. Partial discharges their mechanism, detection and measurement. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2002;9:763-808 [Internet]. [cited 2020 Dec 07]. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1038663>
 14. Поляков Д.А., Шамганов Э.Б., Никитин К.И., Терещенко Н.А. Анализ эффективности регистрации частичных разрядов с использованием индуктивных и емкостных датчиков // Промышленная энергетика. – 2019. – № 12. – С. 30 – 35. [Polyakov DA, Shamganov EB, Nikitin KI, Tereshchenko NA. Analiz effektivnosti registratsii chastichnykh razriadov s ispolzovaniem induktivnykh i emkostnykh datchikov. *Promyshlennaia energetika*, 2019;12:30-35. (In Russ.)]. Доступно по: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1321>. Ссылка активна на: 07.12.2020.
 15. Давиденко И.В., Овчинников К.В. Идентификация дефектов трансформаторов по анализу газов, растворенных в масле // Электротехника. – 2019. – № 4. – С. 48–54. [Davidenko IV, Ovchinnikov KV. Identifikatsiia defektov transformatorov po analizu gazov, rastvorenykh v masle. *Elektrotehnika*, 2019;4:48-54. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37246280>. Ссылка активна на: 07.12.2020.

Сведения об авторах:

Черемисин Василий Титович, д.т.н., профессор;
eLibrary SPIN: 7843-0765; ORCID: 0000-0002-4576-2223;
E-mail: eps@omgups.ru

Кузнецов Андрей Альбертович, д.т.н., профессор;
eLibrary SPIN: 5259-0531; ORCID: 0000-0002-1815-4679;
E-mail: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

Волчанина Мария Андреевна, аспирант;
eLibrary SPIN: 2130-4637; ORCID: 0000-0002-1815-4679;
E-mail: kuznetcova994@gmail.com

Горлов Антон Вячеславович, аспирант;
ORCID: 0000-0002-8413-6612;
E-mail: anton.gorlov@mail.ru

Information about the authors:

Vasily T. Cheremisin, Doctor of Technical Science, professor;
eLibrary SPIN: 7843-0765; ORCID: 0000-0002-4576-2223;
E-mail: eps@omgups.ru

Andrey A. Kuznetsov, Doctor of Technical Science, professor;
eLibrary SPIN: 5259-0531; ORCID: 0000-0002-1815-4679;
E-mail: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

Maria A. Volchanina, PhD student;
eLibrary SPIN: 2130-4637; ORCID: 0000-0002-1815-4679;
E-mail: kuznetcova994@gmail.com

Anton V. Gorlov, PhD student;
ORCID: 0000-0002-8413-6612
E-mail: anton.gorlov@mail.ru

Цитировать:

Черемисин В.Т., Кузнецов А.А., Волчанина М.А., Горлов А.В. Измерение параметров акустических сигналов имитатора дефектов силовых трансформаторов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 161–171. doi: 10.17816/transsyst202064161-171

To cite this article:

Cheremisin VT, Kuznetsov AA, Volchanina MA, Gorlov AV. Measuring the acoustic signals parameters of the defect simulator of power transformers. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):161-171. doi: 10.17816/transsyst202064161-171