

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

MODERN
TRANSPORTATION
SYSTEMS AND
TECHNOLOGIES
peer-review journal

transsyst.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

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

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

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

ИНДЕКСАЦИЯ

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

КОНТАКТЫ

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

Научный редактор В.В. Никитин, доктор технических наук, профессор
Перевод на английский язык А.Ю. Гнатенко
Редактор сайта М.Д. Боярский
Ответственный редактор О.Ю. Смирнова
Верстка Т.С. Антонова

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

Эл № ФС77-81789 от 31.08.2021 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://transsyst.ru/> Рукопись и дополнительные материалы следует оформить в соответствии с правилами редакции, см. подробно по <https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions>

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Том 9, № 3

2023

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР****Титова Тамара Семёновна**

д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Первый проректор – Проректор по науке ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**Смирнов Сергей Александрович**

Руководитель Научно-образовательного центра инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок имени А.А. Зайцева ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР**Никитин Виктор Валерьевич**

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электротехника и теплоэнергетика», профессор кафедры «Электрическая тяга» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Богданов Александр Владимирович, д. физ.-мат.н., профессор СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия;
Валинский Олег Сергеевич, к.т.н., ректор ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Верескун Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор, ректор РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия;
Воробьев Александр Алфеевич, д.т.н., доцент, Заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы», Профессор кафедры «Электрическая тяга», и.о. заведующего кафедрой «Методы и приборы неразрушающего контроля» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Журавлева Наталья Александровна, доктор экономических наук, профессор Заведующий кафедрой «Экономика транспорта», Директор Института прикладной экономики и бухгалтерского учета железнодорожного транспорта ПГУПС, 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 РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия;
Кручинина Ирина Юрьевна, д.т.н., директор ИХС РАН, Санкт-Петербург, Россия;
Ли Вэйли, PhD, профессор Пекинского транспортного университета, Пекин, КНР;
Линь Гобинь, PhD, профессор, директор Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;
Ледяев Александр Петрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тоннели и метрополитены», ведущий научный сотрудник Научно-аналитической группы по развитию городского транспорта ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
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;
Ни Фэй, PhD, младший научный сотрудник, Национальный транспортно-инженерный центр Маглев, Университет Тунцзи, Шанхай, КНР;
Никитенко Владимир Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика» РУТ (МИИТ), Москва, Россия;
Подсорин Виктор Александрович, д.э.н., профессор РУТ (МИИТ), Москва, Россия;
Повадол Сирирангси, Dr., Заместитель декана Факультета логистики и управления транспортом Паняпиватского института управления, Паккред, Таиланд;
Смирнов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Мосты» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Соломин Владимир Александрович, д.т.н., профессор РГУПС, 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;
Талантова Клара Васильевна, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Терешина Наталья Петровна, д.э.н., профессор, Заведующая кафедрой «Экономика и управление на транспорте» РУТ (МИИТ), Москва, 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

"MODERN TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES"

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: transsyst@mail.ru
Website: www.transsyst.ru
Phone: +7 (911) 2384445

Science Editor V.V. Nikitin, Doctor of Technical Science, Professor
Translation into English A.Yu. Gnatenko
WEB- Editor M.D. Boyarsky
The Executive Editor O.Yu. Smimova
Layout Editor T.S. Antonova

AIMS & SCOPE

Network electronic journal "Modern Transportation Systems and Technologies" 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://transsyst.ru/>

The manuscript and additional materials should be prepared and arranged in accordance with the author guidelines (see in detail at: <https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions>)

MODERN TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Vol. 9, Issue 3

2023

PEER-REVIEWED RESEARCH JOURNAL**EDITOR-IN-CHIEF**

Tamila S. Titova

Dr. Sc., Professor, First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Work PGUPS,
Honored Worker of Science of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Deputy EDITOR-IN-CHIEF

Sergey A. Smirnov

Director A.A. Zaitsev Scientific-Educational center of passenger railway
transportation innovative development PGUPS, St. Petersburg, Russia

THE SCIENTIFIC EDITOR

Viktor V. Nikitin

Dr.Sc., Professor, Professor Departments Electric Power Traction and Theoretical
Bases of Electrical Engineering PGUPS, St. Petersburg, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksandr V. Bogdanov, Dr. Physics and Mathematics, Professor, St. Petersburg State
University, St. Petersburg, Russia;

Oleg S. Valinsky, Ph.D., rector PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Vladimir D. Vereskun, Dr. Sc., Professor, Rector of Rostov State Transport
University, Rostov-on-Don, Russia;

Aleksandr A. Vorobyev, Dr. Sc., Associate professor, Head of Department
Mechanical Handling and Road Building Machines, Professor Electric Power Traction
PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Natal'ya A. Zhuravleva, Dr. Economics, Professor Head of the Department of
Economics of Transport, Director of the Institute of Applied Economics and
Accounting of Railway Transport PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Johannes O. 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., Director of Institute of Silicate Chemistry of the Russian
Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia;

Weili Li, Ph.D., Professor, Beijing Jiaotong University, Beijing, China;

Guobin Lin, PhD, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D
Center (NMTC), Director, Professor, Tongji University, Shanghai, China;

Aleksandr P. Ledyayev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the
Department Tunnels and Subways, Leading Research Fellow Scientific and Analytical-
Group for the Development of Urban Transport PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Zhixun Ma, PhD, Associate Professor, National Maglev Transportation Engineering
Technology R&D Center (NMTC), Tongji University, Shanghai, China;

Radik R. 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;

Fei Ni, PhD, Assistant Researcher, National Maglev Transportation Engineering Technology
R&D Center, Tongji University, Shanghai, China;

Vladimir A. Nikitenko, Dr. Physics and Mathematics, Professor, Head of the
Department of Physics Russian University of Transport, Moscow, Russia;

Viktor A. Podgorin, 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;

Vladimir N. Smirnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the
Department Bridges PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Vladimir A. Solomin, Dr. Sc., Professor, Rostov State Transport University, Rostov-
on-Don, Russia;

Richard M. Stephan, Dr.Sc., Full Professor, Department of Electrical Engineering, Head of
Electric Machines Laboratory, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,
Brazil;

Klara V. Talantova, Dr. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of
Building Structures

Natalya Tereshina, Dr. Economics, Professor, Head of the Department of
Economics and Transport Management Russian University of Transport,
Moscow, Russia;

Han Hyung-Suk, PhD, Head of the Department of Maglev and Linear Drives, Principle
Researcher, Korea Institute of Machinery & Material (KIMM), Daejeon, the Republic of Korea.

СОДЕРЖАНИЕ		TABLE OF CONTENTS
ОБЗОРЫ		REVIEWS
Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ Направление – Техносферная безопасность транспортных систем Ахтямов Р.Г. Оценка и пути снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов	5	Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS Field – Technosphere safety of transport systems Akhtyamov R.G. Evaluation and ways to reduce uncertainty of greenhouse gas emission and sequestration
Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ Направление – Электротехнические комплексы и системы Рыжова Е.Л. Применение интеллектуальных технологий для реализации проекта цифровой тяговой подстанции	15	Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS Field – Electrotechnical complexes and systems Ryzhova E.L. Application of intelligent technologies for the implementation of the digital traction substation project
ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ		ORIGINAL STUDIES
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация Ворон О.А., Булавин Ю.П. Исследование изгибных колебаний силовых конструкций кузова рефрижераторного вагона при различных вариантах расположения энергоохладительного оборудования	32	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Railway rolling stock, train traction and electrification Voron O.A., Bulavin Y.P. Modal-based analysis of the refrigerated wagon body with different placements of energy refrigeration equipment
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Наземные транспортно-логистические средства и комплексы Направление – машины, агрегаты и технологические процессы Юницкий А.Э, Кузьмин И.А, Попко С.С, Лобазова И.Е. Разработка вихретоковых замедлителей для транспортных комплексов «второго уровня» uST	41	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Ground transport and technological means and complexes Field – Machines, aggregates and technological processes Unitsky A.E., Kuzmin I.A., Popko S.S., Labazava I.E. Development of eddy-current decelerators for uST transport complexes of the “second level”

Рубрика 3. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ Направление – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте Трегубов В.Н., Сайфутдинова П.А., Рощупкин В.А. Исследование пользовательского опыта для Интернет-ресурсов компаний экспресс-доставки	59	Rubric 3. TRANSPORT SYSTEMS Field – Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport Tregubov V.N., Saifutdinova P.A., Roshchupkin V.A. Research of user experience for express delivery companies site's
Рубрика 3. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ Направление – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте Клюшпис Й., Киршер Р., Витт М., Хенель С., Блоу Л. Среднескоростные маглев-системы: подходящие области применения с точки зрения транспортной отрасли	75	Rubric 3. TRANSPORT SYSTEMS Field – Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport Klühspies J., Kircher R., Witt M., Haenel S., Blow L. On the suitability of medium speed maglev transport systems: an analysis of perceptions in the transportation sector

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Техносферная безопасность транспортных систем

УДК 551.583.2

DOI 10.17816/transsyst2023935-14

© **Р.Г. Ахтямов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ОЦЕНКА И ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Обоснование: Как известно, транспортная отрасль – один из крупных источников эмиссии парниковых газов, и, неизбежно подвергается влиянию экологической повестки.

Цель: Оценка неопределенности и разработка путей снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов.

Метод: Анализ статистических причин неопределенности при измерении и учете выбросов и поглощений парниковых газов, а также анализ литературных источников предложены пути снижения неопределенности.

Результаты: Выявлены источники неопределенности, полученные при учете выбросов или поглощений парниковых газов при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта. При этом выделены объективно обусловленные причины неопределенности, связанные с недостатками данных, используемых моделей и анализируемых выборок, а также причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Сформулированы пути снижения неопределенности, основанные на улучшении концептуализации, совершенствовании модельной структуры, повышении репрезентативности данных, а также использовании более точных методов измерения.

Заключение: Пути снижения неопределенности при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта, основанной на субъективных параметрах, заключаются во внедрении адаптивного управления и развитии обучения, как итеративного процесса, так как обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата.

Ключевые слова: изменение климата, устойчивое развитие, парниковые газы, неопределенность, выбросы парниковых газов, поглощение парниковых газов, адаптация, смягчение, адаптивное управление, обучение.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Technosphere safety of transport systems

© **Rasul G. Akhtyamov**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

EVALUATION AND WAYS TO REDUCE UNCERTAINTY OF GREENHOUSE GAS EMISSION AND SEQUESTRATION

Background: The transport industry is one of the major sources of greenhouse gas emissions, and is inevitably influenced by the environmental agenda.

Aim: Estimation of the uncertainty and develop ways to reduce uncertainty when accounting for emissions and removals of greenhouse gases.

Methods: The method of analyzing the statistical causes of uncertainty in the measurement and accounting of emissions and removals of greenhouse gases, as well as the analysis of literary sources, suggests ways to reduce uncertainty.

Results: The sources of uncertainty in the implementation of the climate change transport adaptation plan obtained when taking into account emissions or removals of greenhouse gases were identified. At the same time, objectively determined causes of uncertainty associated with shortcomings in the data, models used and analyzed samples, as well as causes of uncertainty based on subjective assumptions, are identified. Of practical significance are the formulated ways to reduce uncertainty, based on improving the conceptualization, improving the model structure, increasing the representativeness of the data, as well as using more accurate measurement methods.

Conclusion: Ways to reduce uncertainty in the implementation of the climate change transport adaptation plan based on subjective parameters are to introduce adaptive management and develop learning as an iterative process, as learning becomes a key component of activity in a changing climate.

Key words: climate change, sustainable development, greenhouse gases, uncertainty, greenhouse gas emissions, greenhouse gas absorption, adaptation, mitigation, adaptive management, learning.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из параметров, оказывающих существенное влияние на оценку климатических изменений, а также величину выбросов и поглощений парниковых газов является неопределенность. Правдоподобие оценок основано на неопределенности переходной реакции климата на кумулятивные выбросы CO₂, а также других парниковых газов и дополнительных обратных связях.

Величина обратных связей между изменением климата и углеродным циклом становится выше, при этом возрастает ее неопределенность в сценарной структуре «общих социально-экономических вариантов» (ОСЭВ) с высокими уровнями выбросов CO₂ (Рис.).

Диапазоны неопределенности на Рис. представлены затенениями. Помимо влияния внутренней изменчивости, прогнозируемые на ближайшую перспективу изменения климатических параметров в глобальном и региональном масштабах, имеют неопределенности из-за неопределенности моделей и неопределенности воздействий, вызванных природными и антропогенными выбросами.

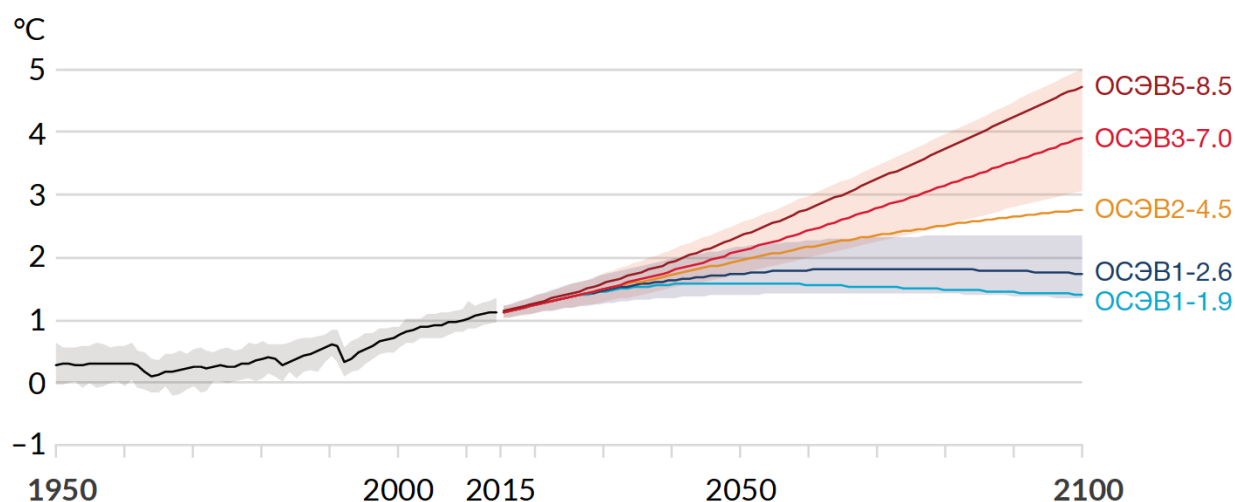


Рис. Изменение глобальной приземной температуры
относительно 1850–1990 годов [1]

Таким образом, оценка неопределенности – это существенный элемент анализа климатических изменений, выбросов и поглощений парниковых газов [2].

Целью данной работы является оценка неопределенности и разработка путей снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов.

ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В соответствии с [3] под неопределенностью понимается недостаток знаний об истинном значении переменной, которая может быть описана как плотность распределения вероятности, характеризующая как диапазон, так и вероятность возможных значений. Неопределенность зависит от знаний аналитика, которые зависят как от качества, так и от количества данных используемых при анализе, а также от понимания основных процессов, происходящих в климатической системе. Изменчивость понимается как неоднородность анализируемой переменной как во времени и пространстве, так и в членах представленной совокупности. Причинами возникновения изменчивости могут быть различия в видах источников выбросов парниковых газов (межобъектовая или пространственная изменчивость) и в условиях эксплуатации (в зависимости от времени эксплуатации источника выбросов).

При оценке неопределенности измерения выбросов и поглощений парниковых газов необходимо учитывать наличие репрезентативных данных и потенциала отклонения данных, погрешность и точность измерений, индивидуальную изменчивость в измерениях и объем выборки

анализируемых данных, межгодовую изменчивость и то, основываются ли оценки величин на значениях, усредненных за несколько лет или за один год.

Наличие репрезентативной выборки подразумевает, что измерения были выполнены для типичных параметров системы, условий эксплуатации, одинаковых интервалов времени, и аналогичных географических областей. Как погрешность, так и точность измерений индивидуальных параметров зависит от применяемого оборудования, а также протоколов измерений. Размер выборки должен определяться соотношением между стремлением к максимально возможному количеству данных и затратами на проведение измерений.

Изменчивость при сравнении данных от одного кратковременного периода (например, часа, дня, неделя) к другому анализируемому периоду зависит от характеристики оцениваемой категории данных. Если в качестве цели сформулирована оценка ежегодных средних выбросов или поглощений парниковых газов, то целесообразна оценка того, являются ли проводимые краткосрочные измерения репрезентативными для длительных интервалов времени и возможно ли расширение программы измерений на дополнительные временные интервалы.

При малых размерах выборки могут возникать значительные величины неопределенности по отношению к оцениваемым параметрам. Кроме того, как правило, не имеется возможности положиться на статистические методы для того, чтобы различить критерии согласия альтернативных параметрических распределений, когда размеры выборки очень малы [4]. Таким образом, при выборе согласовывающегося с незначительным массивом данных параметрического распределения анализируемой величины требуется экспертная оценка.

Одной из основных причин неопределенности является *недостаток полноты*. Данная причина связана с недоступностью результатов измерений или отсутствием соответствующего метода измерения. Данная причина может приводить к отклонениям вследствие неполной концептуализации и появлению случайных ошибок.

Значимым источником неопределенности служит *принятая модель*. В качестве модели могут выступать постоянные множители, в виде простых моделей (например, коэффициенты выбросов), либо сложность моделей может возрастать (например, сложные процессы поглощения парниковых газов). При оценке выбросов и поглощений парниковых газов может возникать неопределенность, состоящая как из отклонений, так и случайных ошибок по следующим причинам:

- модели не являются точными, так как представляют собой упрощение реальных систем;
- интерполяция, применяемая для модели в пределах диапазонов входа, для которых данная модель адекватна;

- экстраполяция приводит к неопределенности модели вне той области, для которой модельный прогноз применим;
- альтернативные построения приводят к неопределенности выбросов и поглощений парниковых газов в различных моделях;
- аппроксимация модельных входов, включая параметры деятельности на основании ограниченного доступа к информации.

Источником неопределенности служит *недостаток данных*. В ряде ситуаций может отсутствовать необходимый массив данных, который необходим для характеристики специфических видов выбросов или поглощений парниковых газов. В данном случае необходимо использование вспомогательных данных, которые связаны с аналогичными или подобными категориями, а также возможна оценка на основе интерполяции или экстраполяции.

В ряде случаев источником неопределенности является *недостаток репрезентативности данных*. Данная причина неопределенности связана с отсутствием связи между условиями, при которых получались данные и условиями, при которых происходили выбросы или поглощения парниковых газов. Так, данные о выбросах парниковых газов могли быть получены в условиях полной загрузки мощностей, но не в случае снижения производственных мощностей объекта анализа. Таким образом, данные лишь частично соотносятся реальными выбросами парниковых газов.

Статистическая ошибка случайной выборки влияет на величину неопределенности. Данная причина неопределенности связана с данными, являющимися случайной выборкой конечного размера, которая зависит от дисперсии массива данных, из которой получается выборка и размера получаемой выборки. Снижение данной причины неопределенности возможно путем увеличения числа выборок. При этом, значительные объемы выборки не снижают изменчивость, но сужают доверительные интервалы, которые служат основой при оценке случайной составляющей неопределенности выбросов и поглощений парниковых газов.

Значимым источником неопределенности служит *ошибка измерения*. Ошибки при измерениях могут возникать как случайно, так и систематически. Они могут возникать как следствие ошибок при измерениях, регистрации, а также передаче информации, вследствие ограниченной разрешающей способности приборов. Источником данных ошибок могут служить неточные значения справочных материалов и эталонов измерения, а также неточные значений констант и других величин, которые получаются из внешних источников.

Неверное представление выбросов или поглощений парниковых газов в отчетах или их *ошибочная классификация* является источником неопределенности. Данный вид неопределенности происходит вследствие ошибочного или неполного определения выбросов или поглощений парниковых газов.

Также источником неопределенности служит *отсутствие данных*. Например, результаты измерений, лежащие ниже предела обнаружения. Данная причина возникновения неопределенности приводит, как к отклонениям, так и к возникновению случайной ошибке. Существуют статистические методы для того, чтобы работать с необнаруженными данными, так же как другими типами отсутствующих данных [5–8].

Кроме приведенных выше причин неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов, основанных на объективных параметрах, целесообразно проанализировать причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Одним из основных субъективных параметров, увеличивающих неопределенность, является то, что отдельные лица и/или группы сосредоточены на краткосрочной перспективе и ими игнорируются маловероятные события с высоким уровнем ущерба. При этом выделены следующие факторы, влияющие на неопределенность:

- Недооценка риска: при наличии информации о факторах риска, происходит недооценка вероятности события. Этот фактор неопределенности может быть усилен естественной изменчивостью;
- При высоких первоначальных затратах, связанных с разработкой и реализацией мер по адаптации к изменениям климата, ресурсы направляются на краткосрочные цели, а не на получение потенциальных долгосрочных преимуществ в виде снижения рисков;
- Трудности в поиске оптимального соотношения между затратами и получаемыми выгодами от проведения мероприятий по адаптации и смягчению последствий изменения климата, которые требуют сравнения величины затрат с ожидаемыми выгодами в виде снижения ущерба в будущем;
- Откладывание принятия решения в случае неоднозначного выбора между альтернативами;
- Временные интервалы между институциональными инвестициями в снижение факторов климатического риска и выгодами от данных инвестиций являются значительными, при этом возникает «невидимость» успешного снижения риска, которая может привести к откладыванию принятия решения и, как следствие к росту неопределенности.

При этом неопределенности, связанные с историческим потеплением, составляет ± 550 ГтСО₂, воздействием, не относящиеся к СО₂ составляют ± 220 ГтСО₂. Также значимую величину составляют неопределенности недавних выбросах, например с 2015 года ± 20 ГтСО₂ [1].

ПУТИ СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ УЧЕТЕ ВЫБРОСОВ И ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

В зависимости от причины возникновения могут быть использованы следующие способы снижения неопределенностей при учете выбросов и поглощений парниковых газов при реализации плана адаптации к изменениям климата в области транспорта:

- Улучшение концептуализации и содержательности выбранных структурных предположений ведет к снижению неопределенности. Например, учет сезонности, которая повышает точность ежегодной оценки выбросов и поглощений парниковых газов;

- Улучшение моделей и используемых параметров ведет к лучшему пониманию в определении значимых характеристик как систематических, так и случайных ошибок, а также ведет к снижению неопределенности;

- Улучшение репрезентативности, включающее стратификацию и иные подходы к формированию анализируемой выборки. Непрерывный мониторинг выбросов может быть использован для снижения неопределенности;

- Повышение точности методов измерения, при этом ошибки в измерениях могут быть снижены как использованием более точных методов измерения, так и избеганием введения упрощений, и обеспечением соответствующей калибровки приборов, применяемых при измерениях;

- Увеличение анализируемого количества результатов измерений. Неопределенность, вызванная ошибкой случайной выборки, снижается вследствие увеличения объема выборки;

- Исключение отклонений достигается обеспечением выполнения требований, как к установке, так и к калибровке применяемой аппаратуры, а также тем, что используемые модели или вспомогательные процедуры оценки являются подходящими и репрезентативными. Кроме того, целесообразно систематическое применение метода экспертных оценок;

- Улучшение понимания технологических и климатических процессов, которые связаны с выбросами и поглощением парниковых газов, позволяет обнаружить и скорректировать неполноту данных. Эффективная практика в непрерывном улучшении оценок выбросов и поглощений парниковых газов основана на новых знаниях.

Кроме приведенных выше предложений по снижению неопределенности при учете выбросов и поглощения парниковых газов, основанных на объективных параметрах, целесообразно сформулировать пути сокращения неопределенности, основанные на субъективных параметрах.

Одним из путей сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, является внедрение адаптивного управления. В соответствии с [9, 10] под адаптивным управлением понимается процесс совершенствования политики и практики управления с учетом результатов реализации стратегий, а также прогноза изменения внешних факторов. Принципы адаптивного управления могут внести свой вклад в процессно-ориентированный подход к управлению факторами климатического риска и уже используются в устойчивом управлении природными ресурсами в условиях неопределенности [11]. Целесообразность применения адаптивного управления связана с возможностями организаций и структур избегать включенности в жесткие планы мероприятий и широкое использование новой информации, подходов и способов деятельности. Таким образом, ориентация на динамично меняющиеся экологические, экономические и социальные условия создает возможности для рассмотрения и внедрения инновационных методов управления климатическими рисками, в том числе с ориентацией на долгосрочные и/или относительно маловероятные события.

При запросе инвестиций организациям и структурами, использующими в своей деятельности адаптивное управление необходимо учитывать вероятность неполучения продукта или экономического эффекта в краткосрочной перспективе или в существующих условиях риска. Однако получаемое разнообразие результатов позволяет повысить устойчивость функционирования и адаптивность инвестора при изменении факторов климатического риска, особенно при нелинейном развитии компонентов окружающей среды.

Развитие обучения, как итеративного процесса также является одним из способов сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах. Динамическое понятие адаптации требует обучения как повторяющегося процесса для повышения устойчивости и способности к адаптации не только в отдаленном будущем, но и в краткосрочной перспективе. Это обусловлено тем, что для снижения негативного воздействия факторов климатического риска на объекты инфраструктуры необходимо производить их проектирование, и внедрять меры по адаптации на стадии строительства и эксплуатации, исходя из актуальных климатических изменений.

В этой связи целесообразно рассматривать обучение как постоянный и итеративный процесс, при котором участники понимают смысл системных изменений, участвуют в реализации мер по адаптации к изменению климата и прогнозируют будущие изменения. Таким образом, обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата, что приобретает особую актуальность в условиях неопределенности. В качестве основы для данного типа трансформации образования может выступать создание такого типа социального и

образовательного пространства для обучения и исследований, которое поощряет конкуренцию мнений и подходов к решению актуальных задач, создает систему знаний, построенную на разделяемых участниками образовательного процесса ценностях, а также способствует инновационному и творческому подходу в разработке мер адаптации к изменениям климата и снижении неопределенности при учете выбросов и поглощения парниковых газов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ позволил сформулировать источники неопределенности, полученные при учете выбросов или поглощений парниковых газов. При этом выделены объективно обусловленные причины неопределенности, связанные с недостатками данных, используемых моделей и анализируемых выборок.

Кроме того, выделены причины неопределенности, основанные на субъективных предпосылках. Одним из основных субъективных параметров, увеличивающих неопределенность, является то, что отдельные лица и/или группы сосредоточены на достижении результатов в краткосрочной перспективе и ими игнорируются маловероятные события с высоким уровнем ущерба.

В зависимости от причины возникновения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов сформулированы способы снижения неопределенности, основанные на улучшении концептуализации, совершенствовании модельной структуры, повышении репрезентативности данных, а также использовании более точных методов измерения.

Пути снижения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, заключаются во внедрении адаптивного управления, то есть процесса совершенствования политики и практики управления с учетом результатов реализации стратегий, а также прогноза изменения внешних факторов. Развитие обучения, как итеративного процесса также является одним из способов сокращения неопределенности, основанной на субъективных параметрах, так как обучение становится ключевым компонентом деятельности в условиях меняющегося климата, что приобретает особую актуальность в условиях неопределенности.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, et al. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

- Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 2021. doi: 10.1017/9781009157896.001
2. План адаптации к изменениям климата в области транспорта. [Plan adaptacii k izmeneniyam klimata v oblasti transporta [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 05.06.2023. Доступно по: <https://mintrans.gov.ru/documents/9/11749?type=>
 3. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 [IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006 [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> Ссылка активна на 05.06.2023.
 4. Cullen AC, Frey HC. Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs, Plenum: New York. 1999. doi: 10.1002/sim.958
 5. Cohen AC, Whitten B. *Parameter Estimation in Reliability and Life Span Models*. NY: M.Dekker; 1998. doi: 10.1201/9781003066064
 6. Gelfand AE. *Gibbs Sampling, the Encyclopedia of Statistical Sciences*. NY: John Wiley and Sons; 1996. doi: 10.1002/0471667196.ess0302.pub2
 7. Zhao Y, Frey HC. Quantification of Variability and Uncertainty for Censored Data Sets and Application to Air Toxic Emission Factors. *Risk Analysis*. 2004;24(3):1019-1034. doi: 10.1111/j.0272-4332.2004.00504.x
 8. Харламова, А.В., Верех-Белоусова Е.И. Влияние эдафических условий рекультивированных породных отвалов на эффективность снижения их негативного воздействия на прилегающие территории // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 10(214). – С. 29-35. [Kharlamova AV, Vereh-Belousova EI. The Influence of Edaphic Conditions of Reclaimed Rock Dumps on the Efficiency of Reducing Their Negative Impact on Adjacent Territories. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2018;10(214):29-35. (Russ.)].
 9. Pahl-Wostl C. A conceptual framework for analyzing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 2009;19(3):354-365. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001
 10. Pahl-Wostl C, Craps M, Dewulf A, Mostert E, et al. Social learning and water resources management. *Ecology and Society*. 2007;12(2):5. doi:10.5751/es-02037-120205
 11. Medema W, McIntosh BS, Jeffrey PJ. From premise to practice: a critical assessment of integrated water resources management and adaptive management approaches in the water sector. *Ecology and Society*. 2008;13(2):29. doi: 10.5751/es-02611-130229

Сведения об авторе:

Ахтямов Расул Гумерович, кандидат технических наук, доцент;

eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X;

E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Information about the author:

Rasul Akhtyamov, candidate of technical sciences, associate professor;

eLibrary SPIN: 2812-3782; ORCID: 0000-0001-8732-219X;

E-mail: ahtamov_zchs@mail.ru

Цитировать:

Ахтямов Р.Г. Оценка и пути снижения неопределенности при учете выбросов и поглощений парниковых газов // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 5–14. doi: 10.17816/transsyst2023935-14

To cite this article:

Akhtyamov RG. Evaluation and ways to reduce uncertainty of greenhouse gas emission and sequestration. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):5-14. doi: 10.17816/transsyst2023935-14

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Электротехнические комплексы и системы

УДК [UDC] 621.311.4-52

DOI10.17816/transsyst20239315-31

© Е.Л. Рыжова

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ЦИФРОВОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цель: анализ различных проектных решений для применения цифровых подстанций и перспективных направлений в использовании интеллектуальных технологий в современной энергетической системе тягового электроснабжения.

Методы: для достижения поставленной цели были рассмотрены результаты исследований, известные и инновационные технические решения повышения интеллектуального уровня подстанций, произведен анализ потенциала использования цифровых технологий в системе тягового электроснабжения.

Результаты: рассмотрены основные принципы работы цифровых подстанций, их преимущества и недостатки, принципиальные отличия классических подстанций от цифровых и цифровых от интеллектуальных, использование на подстанциях цифровых измерительных приборов и оборудования. Проведен обзор зарубежного и отечественного опыта разработки и применения цифровых технологий в системах общего и тягового электроснабжения. Показаны основные стадии и технические решения для перевода электрических подстанций на новый этап их развития.

Заключение: Дальнейшее поэтапное развитие подстанций делает их переход на интеллектуальную платформу, что позволит сократить расходы на ремонт и обслуживание электрооборудования, трудозатраты на оперативный персонал, существенно повысить надежность системы электроснабжения за счет раннего обнаружения неисправностей, снизить количество аварий и случаев травматизма на производстве. Благодаря развитию энергетики в этом направлении удастся создать собственную сеть цифровых подстанций с использованием концепции переоборудования уже существующих подстанций и перевода их на новую цифровую силовую технику, а также создания российского уникального программного обеспечения, не зависящего от других стран.

Ключевые слова: интеллектуальные технологии, система тягового электроснабжения, международные стандарты, цифровая подстанция (ЦПС), интеллектуальная подстанция (ИПС), системы автоматизации и управления, системы мониторинга и диагностики, контактная сеть, определение места повреждения.

Rubric 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Field – Electrical complexes and systems

© E.L. Ryzhova

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

APPLICATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL TRACTION SUBSTATION PROJECT

Aim: analysis of various design solutions for the use of digital substations and promising directions in the use of intelligent technologies in a modern traction power supply system.

Methods: to achieve this goal, the results of research, well-known and innovative technical solutions for increasing the intellectual level of substations were considered, the potential of using digital technologies in the traction power supply system was analyzed.

Results: the basic principles of operation of digital substations, their advantages and disadvantages, the use of digital measuring instruments and equipment at substations are considered. A review of foreign and domestic experience in the development and application of digital technologies in general and traction power supply systems is carried out. The main stages and technical solutions for the transfer of electrical substations to a new stage of their development are shown.

Conclusion: Further step-by-step development of substations makes their transition to an intelligent platform, which will reduce the cost of repair and maintenance of electrical equipment, labor costs for operational personnel, significantly increase the reliability of the power supply system due to early detection of malfunctions, reduce the number of accidents and injuries at work. Thanks to the development of energy in this direction, it will be possible to create its own network of digital substations using the concept of retrofitting existing substations and transferring them to new digital power equipment, as well as creating Russian unique software that does not depend on other countries.

Key words: intelligent technologies, traction power supply system, international standards, digital substation, intelligent substation, automation and control systems, monitoring and diagnostics systems, contact network damage location determination.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы при создании и техническом перевооружении энергетических объектов все более актуальным становится создание цифровых подстанций (ЦПС), включающих в себя устройства, соответствующие протоколам стандарта IEC 61850 (МЭК 61850). Сегодня в мире подходы к необходимости и целесообразности создания цифровых подстанций различны. В энергетических евротехнологиях в настоящее время ЦПС активно не используются, а значительный интерес проявляется к применению возобновляемых источников энергии. В азиатских же странах уже построены десятки таких установок [1, 2].

Недостаточная автоматизация технологического процесса на подстанции (ПС), а также увеличение уязвимости ее объектов приводят к ухудшению надежности функционирования подстанции. Чтобы повысить надежность и эффективность действующих подстанций, необходимо ввести необходимый объем нового оборудования. При внедрении новых технологий кроме общей специфики и особенностей энергетических объектов необходимо также учитывать, что применение их должно оправдаться не только в техническом, но в экономическом плане. Прежде чем применять интеллектуальные технологии, необходимо предварительно тестировать компоненты ЦПС, провести технические и экономические анализы эффективности их внедрения, разработать информационные и управляющих подстанционные системы с использованием наиболее подходящих оборудования и программного обеспечения [3].

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Эксперты автоматических систем различным образом дают определение ЦПС. Цифровые подстанции – установки с очень высоким уровнем автоматизации, где оборудование ориентировано на цифровую передачу данных, а информационные системы управляются и взаимодействуют в режиме реального времени и эксплуатируются без постоянного присутствия персонала.

Согласно проектным нормам подстанций, ЦПС – это усовершенствованные автоматизированные системы контроля и управления энергоустановками с использованием инновационных цифровых устройств для сбора и обработки информации, скоростной обмен данными в которых происходит в соответствии с протоколами стандартов МЭК 61850 [4, 5]. Стандарт МЭК 61850 дает возможность использовать цифровые измерительные приборы вместо аналоговых измерительных трансформаторов, определяет не только порядок передачи и обмена информацией между отдельными устройствами, но и конфигурацию схем ПС, приборов и оборудования, позволяя сократить их количество и компактно расположить (Рис.1). Строгое соблюдение стандарта МЭК 61850 в России при создании нового технологического оборудования цифровых подстанций позволит в дальнейшем упростить обслуживание ЦПС и модернизировать их [3, 6, 7].

Основными этапами развития подстанций от классической к автоматизированной ЦПС являются:

- установка цифровых оптических трансформаторов напряжения (ТН) и тока (ТТ), оптимизация микропроцессорных систем;
- оцифровка потоков информации;

– удаленный мониторинг, управление и видеонаблюдение из диспетчерского центра.

Для надежного и точного функционирования цифровых подстанций необходимо использовать современные устройства на основе последних разработок оптического, электронного, цифрового оборудования. Компактные и легкие цифровые электронные измерительные трансформаторы напряжения и тока с повышенной безопасностью, точностью и быстродействием предназначены для измерения и передачи параметров напряжения и тока устройствам защиты, автоматики, сигнализации и управления.

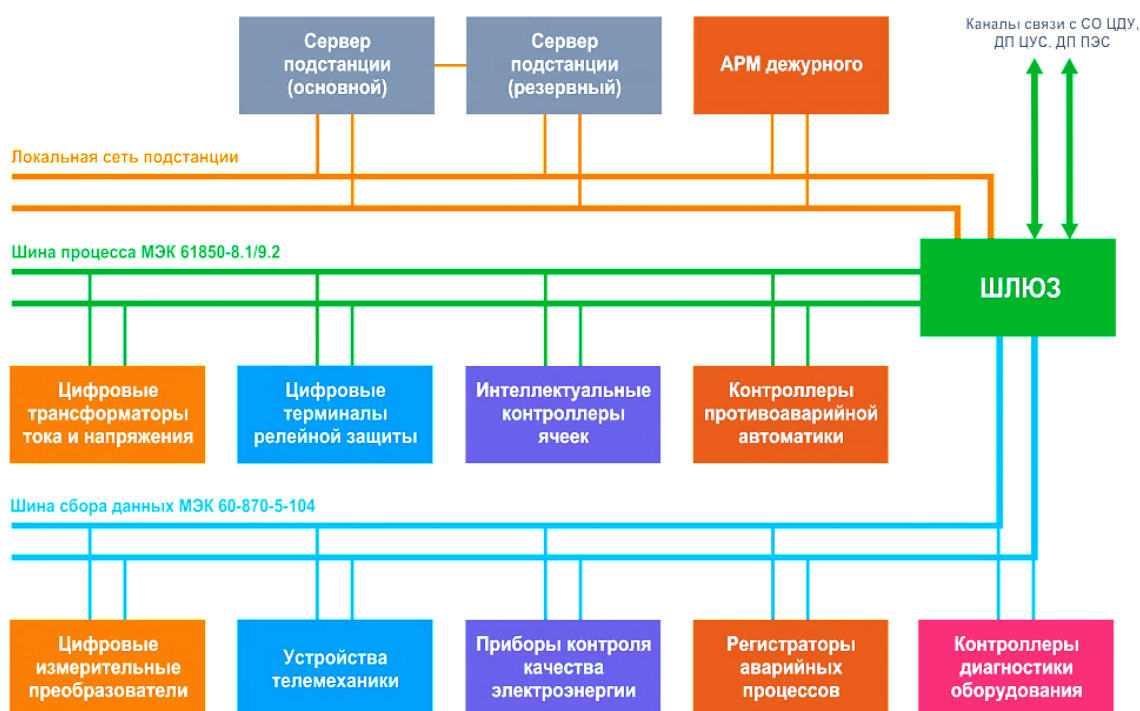


Рис. Структура цифровой подстанции

Источник: [16]

Для того чтобы обеспечить необходимый уровень надежности пилотных проектов требуется дополнительное тестирование средств проектирования, конфигурации устройств на подстанциях и энергообъединении в целом, цифровых систем, предназначенных для разных производителей микропроцессорных устройств [2, 4, 8].

Технология «цифровой подстанции» по отношению к тяговой подстанции может быть разделена на две части:

1. Сбор информации о состоянии оборудования ее и передача в режиме реального времени на автоматизированное рабочее место оперативного персонала;

2. Автоматизация технологических процессов и обмен данными по стандарту МЭК 61850.

Для осуществления первой части проекта «цифровая тяговая подстанция» техническим решением являются системы диагностирования и контроля оборудования, которые необходимы для того, чтобы оценить остаточный ресурс оборудования, выявить дефекты проверяемой техники на начальных этапах, предотвратить отказы и аварийные ситуации, прогнозировать развитие технического состояния контролируемого оборудования. На основе контролируемых параметров осуществляется оценка технического состояния оборудования и автоматически переводится системой мониторинга на энергодиспетчерский щит с помощью светодиодных сигналов разного цвета: контролируемые параметры достигли критических значений – красный сигнал. Если устройство находится в неисправном состоянии при превышении допустимых значений одного или нескольких параметров, система подает сигнал желтого цвета, а при нахождении всех параметров в норме, система контроля сигнализирует зеленым светодиодным сигналом.

В настоящее время реализовать вторую часть технологии ЦПС не представляется возможным из-за нескольких причин. В первую очередь, пока отсутствует программное обеспечение для автоматического управления оборудованием подстанции, во-вторых, сейчас цифровые подстанции в нашей стране не используются в достаточной степени из-за высоких цен на оборудование и недостаточной квалификации персонала. В тоже время преимущества, которыми обладают ЦПС, позволят в будущем перейти от традиционных методов защиты энергетических объектов к инновационным. В процессе модернизаций необходимо отказаться от привычных аналоговых измерительных приборов в пользу современных цифровых. В дальнейшем этот процесс станет не только проще, но еще и более выгодным [9].

После проведения исследований и анализа различных проектных решений были выделены достоинства и недостатки внедрения новых интеллектуальных технологий. Построение цифровой подстанции позволит получить ряд преимуществ:

- существенное снижение количества кабельных соединений и возможность проведения полной их диагностики, что позволит ускорить поиск неисправностей и сократить время восстановительных работ;
- повышение точности измерений;
- единая форма протоколов обмена информацией (МЭК 61850);
- значительное уменьшение общего количества и номенклатуры оборудования за счет использования коммуникационных и вычислительных серверов общего назначения, имеющих более низкую стоимость и более высокую производительность, чем специальные, что сократит объем и время профилактики и восстановления работоспособности оборудования;

- упрощение проектирования, эксплуатации и обслуживания (периодических проверок устройств, снижение их объемов и частоты за счет оптимизации профилактических и необходимых восстановительных работ);

- переход на необслуживаемые подстанции за счет обеспечения наблюдения каналов для сбора и передачи данных, управления и контроля;

- повышение помехозащищенности; пожаро- и взрывобезопасности и экологичности.

Таким образом, наблюдается и технологический эффект, связанный с переходом на непрерывный мониторинг всего оборудования, что повышает надежность и долговечность тяговой подстанции, а также способствует стратегии энергосбережения [10–14].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ЦПС

Сравнивая технико-экономические показатели ЦПС и основные расходы на реализацию традиционных решений и решений инновационных, можно сделать вывод, что при массовом производстве цифровых подстанций стоимость нового решения не превысит стоимость традиционного решения построения систем автоматизации ЦПС. Промышленное внедрение ЦПС с открытыми распределительными устройствами высокого уровня напряжения ожидает снижение затрат на 23,6 % по сравнению с традиционными системами автоматизации, и на 7,6 % – на подстанциях, оснащенных современными распределительными устройствами с элегазовой изоляцией.

Функциональные возможности устройств для ЦПС рассматриваются для реализации цифровизации тяговых подстанций (ТПС) на основе стандартов МЭК 61850 в качестве перспективных способов решения многочисленных проблем работы электросетей различного назначения [3]. Например, определение места повреждения в контактной сети более точно и быстро может быть произведено на ЦПС. Существующие сегодня способы и методы обнаружения места повреждения в контактной сети имеют ряд недостатков, снижающих точность и увеличивающих время поиска. Новый метод защиты тяговой сети, используемый на подстанциях с высоким уровнем цифровизации, позволит точно найти место повреждения и сократить время его определения благодаря скорости реакций элементов автоматической системы мониторинга цифровой тяговой подстанции [15].

Устаревшее аналоговое оборудование ПС не позволяет перейти к автоматизации технологических процессов по стандарту МЭК 61850. Для решения этих проблем необходимо поэтапно перевести тяговые подстанции вначале на цифровые подстанции нового поколения, а затем – на интеллектуальные. Благодаря внедрению ЦПС, а в дальнейшем и

интеллектуальных подстанций (ИПС), можно устранить ряд недостатков классических ПС, главными из которых являются: невозможность дистанционного автоматического управления, мониторинга, диагностики неисправностей оборудования, ошибки оперативного персонала, использование аналогового оборудования, не соответствующего стандартам МЭК-61850. Чтобы осуществить первый этап перевода ПС на новую ступень, необходимы интеллектуальные, высоконадежные цифровые устройства, которые в то же время просты в обслуживании в связи с уменьшением количества кабелей и заменой их на оптоволоконные линии связи. Несмотря на все преимущества, для перевода подстанции в цифровой формат требуются не только большие финансовые затраты, но также и совместимость с оборудованием, которое установлено на ПС [7].

В России внедрение ЦПС может быть проведено в полном объеме при решении следующих вопросов:

- соответствие стандартам международного уровня и разработка отечественного нормативного обеспечения внедрения новых ЦПС;
- метрологическая аттестация систем автоматизации, с поддержкой МЭК 61850;
- подготовка оперативного и ремонтного персонала, создание центров компетенции;
- ремонтпригодность и взаимозаменяемость компонентов ЦПС;
- минимизация рисков кибербезопасности при переводе ЦПС на автоматизированное телеуправление;
- применение отечественных решений, как в программной, так и в аппаратной части ЦПС [10].

На втором этапе развития подстанций при переводе ЦПС на интеллектуальный уровень предполагается дистанционное управление и обмен данными между установками, удаленное полностью автоматическое наблюдение за техническим состоянием оборудования и всеми технологическими процессами ПС в режиме реального времени. По результатам такого мониторинга искусственный интеллект ИПС самостоятельно без участия обслуживающего персонала может дистанционно управлять ПС, не только принимать решения, но и автоматически их осуществлять. При этом уменьшится аварийность оборудования и вероятность его отказов, сократятся неплановые простои оборудования из-за технических неисправностей и др.

Для осуществления перехода на ИПС на действующих подстанциях могут быть использованы интеллектуальные технологии, такие как, системы диагностики и мониторинга (СДМ) производящие измерения, передачу и отображение параметров силовых трансформаторов в различных режимах их работы, определяющие остаточный ресурс трансформаторов, прогнозируя их дальнейшую эксплуатацию [16].

Для реализации СДМ подходит, например, система контроля, инвентаризации, технического сопровождения (СКИТ С1), посредством которой можно дистанционно контролировать состояние трансформатора и его вводов [17].

Автоматическая система диагностики состояния влажности изоляции, которая при необходимости может без участия оперативного персонала на подстанции производить осушение изоляции трансформатора удаленно без его отключения. Для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей на интеллектуальной подстанции должны использоваться специальные инновационные устройства для управления коммутационными аппаратами распределительных устройств, а также отслеживания диспетчером за их состоянием в режиме online. На ИПС необходимо применять современную централизованную релейную защиту и автоматики (ЦРЗА) подстанции, главная особенность которой заключается в передаче информации в виде векторов вместо передачи массива мгновенных значений через коммуникационную сеть подстанции [16].

Сравнительный анализ классической, цифровой и интеллектуальной подстанций, где рассмотрены их достоинства, недостатки и характерные особенности приведен в Табл.

Таблица. Сравнительный анализ подстанций [18]

Тип подстанции	Характеристики подстанции	
	Достоинства	Недостатки
Классическая подстанция	1. Изученная технология; 2. Не требует новых знаний от разработчиков и персонала.	1. Невозможность; дистанционного управления 2. Высокая вероятность аварий из-за ошибочных действий персонала; 3. Большое количество кабелей; 4. Необходимость постоянного наблюдения и осмотра, в том числе с отключением оборудования для диагностики; 5. Частые ложные срабатывания релейной защиты.
Цифровая подстанция	1. Управляемая; 2. Возможность сбора данных на главном компьютере о всей подстанции; 3. Нет риска неправильных переключений и ошибок персонала.	1. Возможны кибератаки; 2. Сокращение рабочих мест; 3. Требуется новых знаний от разработчиков и персонала; 4. Высокая стоимость.
Интеллектуальная подстанция	1. Полностью управляется; дистанционно с помощью искусственного интеллекта;	1. Сокращение рабочих мест; 2. Требуется новых знаний от разработчиков и персонала;

Тип подстанции	Характеристики подстанции	
	Достоинства	Недостатки
	2. Автоматическое наблюдение за техническим состоянием оборудования онлайн на удаленном сервере; 3. Управление коммутационными аппаратами с удаленного компьютера; 4. Риск ошибок персонала, отсутствует или резко снижается вероятность ложных отказов и срабатываний РЗА; 5. Защищена от кибератак.	3. Высокая стоимость.

Таким образом, постепенный поэтапный переход с классической ПС к ЦПС, а далее – от ЦПС к ИПС резко повысит надежность, уровень управляемости оборудованием подстанций, даст возможность дальнейшего развития полного дистанционного мониторинга, диагностики и обслуживания ПС, исключить риск неправильных переключений, поскольку в системе программного обеспечения диспетчера возможно запрограммировать действия, которые не могут быть выполнены в процессе обслуживания ИПС. Внедрение ИПС и развитие интеллектуальных технологий в будущем неизбежно приведет к переводу персонала на новый уровень логики управления инновационными технологиями, что позволит сделать риски возникновения аварий на подстанциях минимальными, а значит, повысить надежность всего энергетического комплекса.

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ЦПС

В настоящее время в мире уже реализовано достаточно много проектов на основе стандарта МЭК 61850, которые показали преимущества интеллектуальных технологий при внедрении ЦПС. В последние несколько лет мировая электротехническая общественность постоянно обсуждает плюсы и минусы технологии цифровой подстанции. Но если азиатские страны активно переводят свои энергетические объекты на новую технологию, то в России и странах Европы реализовано только несколько пилотных проектов в этом направлении.

В 2017 г. в Красноярском крае для электроснабжения жилого комплекса с крупным торговым центром ввели в эксплуатацию цифровую подстанцию, что позволило снизить затраты на ее обслуживание, повысить надежность системы электроснабжения близлежащих районов. Также в России есть примеры эксплуатации цифровых подстанций Медведковская (Москва, Сколково), Тобол (Тобольск), Южная (Череповец), для

цифровизации которых используется оборудование различных производителей, соответственно единого, унифицированного подхода к выбору оборудования для цифровизации подстанций в нашей стране в настоящее время нет.

Примером успешного использования информационных технологий в компании ОАО «РЖД» является дальнейшая разработка цифровых тяговых подстанций в сочетании с автоматизированной системой контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) с использованием искусственного интеллекта и высокопроизводительных вычислительных комплексов технологии «Интернета вещей». Это позволило увеличить надежность и качество электроснабжения объектов компании в соответствии с текущими условиями, осуществлять автоматическое переключение при возникновении внештатных режимов работы, более точно прогнозировать отказы оборудования, снизить влияние человеческого фактора при их возникновении, автоматизировать процесс планирования покупки электроэнергии. На российской подстанции имени М.П. Сморгунова имеются две параллельные системы: цифровая на основе стандарте МЭК 61850, и классическая – релейная защита и автоматика (РЗА) производителя «Экра», при этом совместно с оптическими линиями применяются и медные кабели для подключения резервных модулей [19].

На ТПС Восточно-Сибирской железной дороги перспективно внедрение системы SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – диспетчерское управление и сбор данных) – программно-аппаратного комплекса для осуществления контроля режимов работы оборудования в реальном времени [20]. Применение на подстанциях системы SCADA направлено на оптимизацию технологического процесса, повышение безопасности при выполнении работ в электроустановках, что позволит значительно сократить время для принятия решения, выявить отказы оборудования ранних этапах их возникновения. Кроме того, на ТПС на базе системы SCADA не требуется постоянное присутствие оперативного персонала, поэтому расходы на обслуживание будут снижены [10].

На российских электрифицированных железных дорогах цифровизация тяговых подстанций только начинается. Исследование имеющейся информации о цифровых тяговых подстанциях показало, что в настоящее время заявлены как цифровые две подстанции: Владимир на Горьковской железной дороге и Иньская на Западно-Сибирской железной дороге.

Внедрение программных комплексов для управления всеми параметрами подстанции – Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) и Единой корпоративной автоматизированной системы управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУТР), стало первым шагом к созданию «интеллектуальной» подстанции. В качестве объекта технического

переворужения определена ТПС Владимир Горьковской дороги, так как подстанция расположена на станции стыкования двух родов тока (постоянного и переменного), содержит все типы основного технологического оборудования, применяемого в системах тягового электроснабжения. Это позволит в сложных условиях электромагнитной совместимости апробировать максимально возможное количество технических решений в области мониторинга, диагностирования, обработки данных, которые неразрывно связаны с необходимостью передачи, распределения, обработки больших объемов информации с использованием искусственного интеллекта «Интернет вещей» и *big data*. В последние годы подстанция подверглась полной реконструкции и уже сейчас оснащена интеллектуальными терминалами присоединений, системами мониторинга силовых трансформаторов, ячейками комплексного распределительного устройства, оперативных цепей [20, 21].

Новосибирские компании разработали пилотный проект по модернизации тяговой подстанции на станции Инская Западно-Сибирской железной дороги, которая была введена в эксплуатацию в 2020 году. Оператор в режиме online может отслеживать работу элементов подстанции, определять важнейшие параметры функционирования оборудования. Модернизация тяговой подстанции позволяет сократить количество оперативного персонала, что особенно важно в условиях нехватки квалифицированных кадров, отслеживая все изменения в системе на экране монитора можно отказаться от ведения бумажных журналов регистрации информации, уменьшить число планово-предупредительных ТО, значительно сэкономив тем самым время и деньги.

Однако в настоящее время эти подстанции лишь оборудованы системами диагностики и мониторинга электрооборудования, и чтобы завершить цифровизацию требуется выполнить еще много работы. Таким образом, выработка единой концепции формирования требований основе стандарта МЭК 61850 к структуре, составу и оснащенности оборудованием ЦПС – актуальная задача в области цифровизации системы тягового электроснабжения [22, 23].

Анализ зарубежного опыта использования и проектирования цифровых подстанций выявил успешную реконструкцию объектов электроэнергетики с точки зрения улучшения технико-экономических показателей и использования передовых технологий. Так, например, во Франции с 2016 г. эксплуатируется цифровая подстанция «Блоко», во время реконструкции которой были установлены оптические трансформаторы тока, новые трансформаторы напряжения, уменьшилось число кабельных связей за счет применения оптических сетей. Было уделено большое внимание резервированию оборудования в составе релейной защиты и автоматики, что позволило существенно увеличить

надежность РЗА. Планируется, что к 2030 году все подстанции Франции будут цифровизированы.

Первым крупным пилотным проектом на основе стандарта МЭК 61850 стало введение в эксплуатацию в 2008 г. цифровой подстанции *TVA Bradley* в США. Внедрение ЦПС позволило улучшить совместимость между устройствами различных производителей, повысить квалификацию персонала в части стандарта МЭК 61850, а также выявить проблемы, возникающие при его использовании.

В 2009 г. на подстанции *Alcala de Henares* в Испании проведено экспериментальное внедрение шины процесса в части передачи дискретной информации. Вся информация о состоянии коммутационных аппаратов, а также команды управления ими передавались по цифровым каналам связи с помощью GOOSE сообщений.

На ЦПС *Osbaldwick* в Великобритании проводились эксперименты, цель которых заключалась в сравнении временных характеристик микропроцессорной релейной защиты (МРЗА) на базе традиционных и цифровых трансформаторов тока с помощью устройств, передающих информацию о мгновенных значениях токов и напряжений по протоколу МЭК 61850.

Большое развитие цифровые подстанции получили в Китае. В 2006 г. была введена в эксплуатацию первая цифровая подстанция *Qujing, Yunnan*. К 2009 г. Китай занял лидирующее место в мире по внедрению цифровых подстанций, вводя ежегодно в эксплуатацию несколько десятков таких ПС.

В Белоруссии в конце 2014 года под Гомелем введена в эксплуатацию первая цифровая подстанция «Приречная», при эксплуатации которой получили ряд преимуществ: сокращение затрат на монтаж, использование одной волоконно-оптической линии вместо множества кабельных, непрерывная самодиагностика системы, снижение вероятности ошибок персонала. Также реализуется уникальный для Белорусской электроэнергетики проект реконструкции высоковольтной подстанции «Могилев», где планируется применить оптические ТТ, выключатели-разъединители не только для РЗА, но и для телемеханики, измерений, метрологии, связи и др. [22, 24].

Таким образом, отечественный и зарубежный опыт внедрения ЦПС на основе стандарта МЭК 61850 показывает, что на современном этапе необходимо уделять повышенное внимание вопросам надежности всех устройств цифровой подстанции, которые должны в полном объеме проходить тестирование на функциональное соответствие стандарту на базе специального сертификационного центра. Большая часть современных цифровых технологий уже применяется или планируется к внедрению на железнодорожном транспорте в Российской Федерации и за рубежом. Однако в связи с быстрым развитием цифровых технологий железнодорожные организации всех стран должны будут постоянно

корректировать оценки, прогнозы и планы действий на основе регулярного анализа лучших мировых тенденций с учетом особенностей деятельности и стратегией компаний [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение цифровых подстанций, а в перспективе переход на ИПС, должно позволить в будущем определить схемы потребления и выработки электроэнергии, снизить затраты на ее производство и передачу, а также повысить надежность электроснабжения и значительно сократить расходы на проектирование, ввод в эксплуатацию и техническое обслуживание энергетических объектов. Практика эксплуатации реализуемых проектов подтверждает эффективность и экономическую целесообразность внедрения цифровой подстанции при строительстве электроэнергетических объектов. Однако, чтобы достичь более высоких показателей, уже сейчас необходимо значительно изменить подход к созданию, эксплуатации и обслуживанию энергетических объектов, внести соответствующие изменения в нормативные документы. Цифровизация подстанций – это не конечная цель, а непрерывное совершенствование программных и аппаратных ее компонентов. Новейшие технологии позволяют рассматривать задачу перехода ПС на интеллектуальный уровень как вполне реальную. Внедрение на ПС интеллектуальной надстройки по протоколу МЭК 61850 позволит сократить затраты на разработку, эксплуатацию, обслуживание и ремонт оборудования, существенно повысит надежность подстанций. Соответственно сокращение расходов и потерь от аварий на ПС позволит использовать финансы для дальнейшего развития электроэнергетической отрасли. В сложившейся мировой политической обстановке развитие собственных решений цифровых подстанций, импортозамещение и поставки высокотехнологичного оборудования будут способствовать не только развитию отечественного производства и науки, но и укреплению энергетической безопасности нашей страны, принесет технико-экономический эффект.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Российский транспорт объединит единая цифровая платформа. [Russian transport will be united by a single digital platform. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: http://www.cnews.ru/reviews/transport2018/articles/rossijskij_transport_obedinit_edina_ya_tsifrovaya_platforma Ссылка активна на: 15.07.2023.

2. Цифровая подстанция – цифровое будущее. [Digital substation is the digital future. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://1-engineer.ru/cifrovye-podstancii-cifrovoe-budushhee>
3. Бовыкин В.Н., Мокеев А.В. Пример использования МЭК 61850 при создании ССПИ подстанций // Технические и программные средства систем автоматизации. Телекоммуникационные системы для энергетики. – 2015. – № 7. – С. 49–55. [Bovykin VN, Mokeev AV. An example of the use of IEC 61850 in the creation of SSPI substations. *Technical and software tools of automation systems. Telecommunication systems for energy*. 2015;(7):49–55. (In Russ.)]. Доступно по: <https://ami-system.ru/president?yclid=11789450703238070271/> Ссылка активна на: 15.07.2023.
4. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС), п.3. [STO 56947007-29.240.10.248-2017 Norms of technological design of AC substations with a higher voltage of 35-750 kV (NTP PS), item 3. [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200097086?ysclid=lk5qo48tti24098650> Ссылка активна на: 15.07.2023.
5. Король Ю.Н. Концепция цифровой тяговой подстанции. – М., 2020. – 62 с. [King YuN. *Koncepciya cifrovoj tyagovoj podstancii*. Moscow; 2020. 62 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://eepir.ru/article/koncepciya-cifrovoj-podstancii/?ysclid=ll88m4r7mn431355662>
6. Казакова Е.А., Зуев И.Н., Щекочихин А.В. Актуальность применения цифровых подстанций // Актуальные исследования. – 2021. – №22. – С. 10–13. [Kazakova EA, Zuev IN, Shchekochikhin AV. The relevance of the use of digital substations. *Actual research*. 2021;(22):10-13. (In Russ.)]. Доступно по: <https://apni.ru/article/2521-aktualnost-primeneniya-tsifrovikh-podstantsij/> Ссылка активна на: 15.07.2023.
7. Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС». [Corporate Profile IEC 61850 PJSC FGC UES. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-25.040.30.309-2020.pdf
8. Глинкин Е.И., Глинкин М.Е. Технология аналого-цифровых преобразователей. – Тамбов: ТГТУ, 2008. – 140 с. [Glinkin EI, Glinkin ME. *Technology of analog-to-digital converters*. Tambov: TSTU; 2008. 140 p. (In Russ.)]. Доступно по: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/2008/glinkin-a.pdf?ysclid=ll89sj97g6284291989> Ссылка активна на: 15.07.2023.
9. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 3. – С. 127–135. [Lundalin AA, Puzina EYu, Khudonogov IA, Kashkovsky VV. Analysis of reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2019;(3):127-135. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/lgqrkx?ysclid=ll8d3j3o1k918422469> Ссылка активна на: 15.07.2023.
10. Горелик Т.Г., Кириенко О.В. Цифровая подстанция. Состояние и перспективы развития // Практика. – 2022 – №4 – С.59–65. [Gorelik TG, Kirienko OV. Digital substation. State and prospects of development. *Praktika*. 2022;(4):59–65. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17652858&ysclid=lk5q8foxrs656259909>

11. Возможна ли цифровая подстанция? – стандарт МЭК 61850 вселяет надежду. [Vozmozhna li cifrovaya podstanciya? – standart MEK 61850 vselyaet nadezhdu. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.terraelectronica.ru/news/5684>
12. Казаков Д.О., Пузина Е.Ю. Технические решения по цифровизации тяговых подстанций России // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021 – № 1. – С. 227–237. [Kazakov DO, Puzina EYu. Technical solutions for digitalization of traction substations in Russia. *Young Science of Siberia: electron. Scientific Journal*. 2021;(1):227-237. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/zxaqfh?ysclid=ll8eri9u47538927658>
13. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 119–137. [Gorbunova VS, Puzina EYu. Efficiency of energy management system implementation in Russian industrial companies. *Transport systems and technologies*. 2018;4(1):119-137. (Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2018041119-137
14. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири / Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Иркутск: ИРНИТУ, 2016. – Т.2. – С. 142–147. [Bobrova YuM, Puzina EYu. The need to activate energy saving in Russia. Improving the efficiency of energy production and use in Siberia. In Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation. Irkutsk: IRNITU; 2016. Vol.2, pp. 142-147. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42575221&ysclid=ll8athy0e654956713> Ссылка активна на: 15.07.2023.
15. Костин А.П., Макашева С.И., Пинчуков П.С. Цифровизация тяговых подстанций как инструмент решения проблемы обнаружения места повреждения в контактной сети // Постулат. – 2018. – №10. – С. 140–146. [Kostin AP, Makasheva SI, Pinchukov PS. Digitalization of traction substations as a tool for solving the problem of fault location detection in the contact network // *Postulate*. 2018;(10):140-146. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: elibrary.ru/vqshfc?ysclid=ll8bhgryf2116048253
16. Оборудование и технологии МОХА для энергетических подстанций МЭК 61850. [MOHA Equipment and Technologies for power substations IEC 61850. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: https://moxa.ru/tehnologii/power_systems/iec-61850/
17. Программно-аппаратный комплекс «СКИТ» [Hardware and software complex “SKIT”. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://rtskit.ru/>
18. Савина Н.В., Козырев Е.Р. Выбор инновационных технологий для перевода подстанции на платформу интеллектуальной // Вестник АмГУ. – 2022. – Вып. 97. – С. 118–125. [Savina NV, Kozyrev ER. The choice of innovative technologies for the transfer of a substation to an intelligent platform. *Vestnik AmGU*. 2022;97:118-125. (In Russ.)]. doi: 10.22250/20730268_2022_97_118
19. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). – М.: 2018. – 125 с. [Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya holdinga “RZHD” na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda (Belaya kniga). Moscow; 2018. – 125 p. (In Russ.)]. Доступно по: http://www.rzd-expo.ru/innovation/sait_WB.pdf Ссылка активна на: 15.07.2023.

20. СТО 56947007-25.040.40.227-2016. Типовые технические требования к функциональной структуре автоматизированных систем управления технологическими процессами подстанций Единой национальной электрической сети (АСУ ТП ПС ЕНЭС). [STO 56947007-25.040.40.227-2016. Tipovye tekhnicheskie trebovaniya k funkcional'noj strukture avtomatizirovannyh sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami podstancij Edinoj nacional'noj elektricheskoy seti (ASU TP PS ENES). [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://standartgost.ru/g/СТО_56947007-25.040.40.227-2016?ysclid=llnzuj5i47870713650 Ссылка активна на: 15.07.2023.
21. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск, 2020. – 184 с. [Puzina EYu, Tujgunova AG, Hudonogov IA. *Sistemy monitoringa silovyh transformatorov tyagovyh podstancij*. Irkutsk, 2020. – 184 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 15.07.2023. Доступно по: <https://expose.gpntbsib.ru/expose/vnp-a870ca8e/book/Г2020-28523663442953?ysclid=llo0576jwc890546640>
22. Пузина Е.Ю. Сравнительный анализ оборудования уровня процесса для цифровой тяговой подстанции. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск- 2021. № 2. С. 92–104 [Puzina EYu. *Sravnitel'nyj analiz oborudovaniya urovnya processa dlya cifrovoj tyagovoj podstancii*. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2021;(2):92-104. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46595463&ysclid=llo0ak3hy0343390495> Ссылка активна на: 15.07.2023.
23. Ковина А.С. Анализ эффективности автоматизированных систем мониторинга и управления подстанций и энергосистем // В сборнике: Образование. Наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. Белгород, 2021. – С. 1652-1654. [Kovina AS. *Analiz effektivnosti avtomatizirovannyh sistem monitoringa i upravleniya podstancij i energosistem*. In *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo*. XIII Mezhdunarodnyj molodezhnyj forum. Belgorod; 2021. pp. 142-147. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47279249&ysclid=llo0j8e48o846158549> Ссылка активна на: 15.07.2023.
24. Карасев О.И., Железнов М.М., Белошицкий А.В., Шитов Е.А. Приоритеты научно-технологического развития железнодорожной отрасли в контексте цифровизации: зарубежный опыт // Мир транспорта. – 2019. – Т 17. – № 6. – С. 20–36. [Karasev OI, Zheleznov MM, Beloshitsky AV, Shitov EA. *Priorities of scientific and technological development of the railway industry in the context of digitalization: foreign experience*. *The world of transport* 2019;17(6):20-36. (In Russ.)]. doi: 10.30932/1992-3252-2019-17-20-36

Сведения об авторах:

Рыжова Елена Львовна, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN:1880-3372; ORCID: 0000-0001-7984-2558;
E-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru

Information about the author:

Elena L. Ryzhova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN:1880-3372; ORCID: 0000-0001-7984-2558;
E-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru

Цитировать:

Рыжова Е.Л. Применение интеллектуальных технологий для реализации проекта цифровой тяговой подстанции // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 15–31. doi:10.17816/transsyst20239315-31

To cite this article:

Ryzhova EL. Application of intelligent technologies for the implementation of the digital traction substation project. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):15-31. doi: 10.17816/transsyst20239315-31

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

УДК [UDC] 629.463.12 + 06

DOI 10.17816/transsyst20239332-40

© О.А. Ворон, Ю.П. Булавин

Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВА РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ВАГОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭНЕРГОХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цель: исследовать изгибные колебания силовых конструкций кузова рефрижераторного вагона при различных вариантах расположения энергохолодильного оборудования.

Материалы и методы: задача решается методом конечных элементов, для анализа результатов используется коэффициент влияния.

Результаты: получены частоты и формы колебаний вариантов кузова вагона.

Заключение: частота колебаний мало меняется в зависимости от конструкции кузова и лежит в интервале 7–5 Гц, масса холодильной установки не оказывает значительного влияния на частоту колебаний, наибольшие перемещения приходится на крышу вагона, при определенной комбинации жесткости рессорного подвешивания и массы груза возможно возникновение резонансных явлений.

Ключевые слова: изгибные колебания, рефрижераторный вагон, оборудование, конечные элементы.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Railway rolling stock, train traction and electrification

© O.A. Voron, Y.P. Bulavin

Author Rostov State Transport University
(Rostov-on-Don, Russia)

MODAL-BASED ANALYSIS OF THE REFRIGERATED WAGON BODY WITH DIFFERENT PLACEMENTS OF ENERGY REFRIGERATION EQUIPMENT

Aim: modal analysis of the body of a refrigerated wagon with energy refrigeration equipment in various locations.

Materials and Methods: the problem was solved using the finite element method, and the participation factor was used to analyze the results.

Results: The frequencies and mode shapes of the refrigerated wagon body variants were determined.

Conclusion: The frequency of vibration changes little depending on the body design and lies in the range of 7-5 Hz. The mass of the refrigeration unit does not have a significant impact on the frequency of vibration. The largest displacements occur on the roof of the wagon. At a certain combination of the stiffness of the spring suspension and the mass of the load, resonant phenomena may occur.

Key words: mode shape, modal analysis, finite elements, refrigerator wagon, frequency.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] предлагается современный типаж изотермического подвижного состава (ИПС) с улучшенными технико-экономическими характеристиками и потребительскими качествами.

В техническом плане эти типы вагонов должны соответствовать требованиям инновационного подвижного состава, а именно, увеличенная вместимость, ускоренная погрузка-разгрузка, высокая весовая эффективность, увеличенная скорость движения, «умный» вагон». Для этого в их конструкции должны быть реализованы три важнейших технических решения:

- оптимизации геометрии несущих элементов конструкций кузова;
- ходовые части с осевой нагрузкой 22–23 т и скоростями движения до 140 км/ч;
- различные варианты расположения и типы специализированного энергоклиматического оборудования.

В эксплуатации такой подвижной состав предполагает следующие организационные мероприятия: перевозка «от двери до двери», локальный подвоз-развоз автомобильным транспортом, магистральная перевозка железнодорожным транспортом, движение по пассажирским ниткам графика, отправление по расписанию, использование поездов постоянного формирования.

В работе [1] были рассмотрены различные варианты расположения холодильно-нагревательных установок (ХНУ) в кузове вагона и реализуемые при них основные технико-экономические параметры. Лучшие показатели имеют те варианты, в которых ХНУ не занимают полезного объема, а значит и длины кузова, поэтому в данной работе рассмотрим наиболее перспективную модификацию конструкции кузова, в которой ХНУ располагаются посередине вагона на крыше. Такое расположение ХНУ позволяет упростить систему распределения и циркуляции термообработанного воздуха в грузовом помещении вагона.

В связи с тем, что расположение ХНУ на крыше изотермического вагона ранее не применялось, требуется его теоретическое обоснование в вопросах связанных с вибронатурженностью холодильного оборудования и кузова вагона. Следует отметить, что кузов вагона имеет довольно

жесткую раму и несмотря на свою длину, изгибные колебания обычно не рассматривают при размещении на ней ХНУ.

В работах [2–5] проводились теоретические и экспериментальные исследования изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов и вагонов электропоездов нового поколения, отмечаются сложности при определении низшей частоты изгибных колебаний кузова расчетными методами. Рассмотрены различные теоретические и экспериментальные аспекты влияния изгибной жесткости на ходовые динамические и эксплуатационные показатели вагонов.

Авторами [6–7] с помощью метода конечных элементов исследуются собственные изгибные колебания вагонов моторвагонного подвижного состава и уточняется формула для оценки их частоты.

В данной работе рассмотрим изгибные колебания двух вариантов кузова изотермического вагона с базовым расположением холодильного оборудования (Модель 1) и на крыше (Модель 2). Масса пустого кузова «Модель 1» – 10442 кг, «Модель 2» – 10301 кг. В расчетах примем, что масса вариантов ХНУ может составлять 400 и 700 кг, масса груза в кузове вагона 40 т.

В [8] указывается на необходимость уделять особое внимание ходовым частям ИПС, поэтому рассмотрим два случая, в первом вагон имеет упругие опоры в зонах пятников, которые моделируют рессорное подвешивание тележки, во втором без опор, что эквивалентно задаче колебаний стержня со свободными концами [9]. Конструкция кузова вагона и места расположения ХНУ показаны на Рис. 1.

В работе [9] представлен один из подходов решения поставленных задач, но в нашем случае с учетом имеющихся твердотельных моделей кузовов вагонов воспользуемся численными методами, а именно методом конечных элементов (МКЭ), и его программной реализацией в Ansys Mechanical.

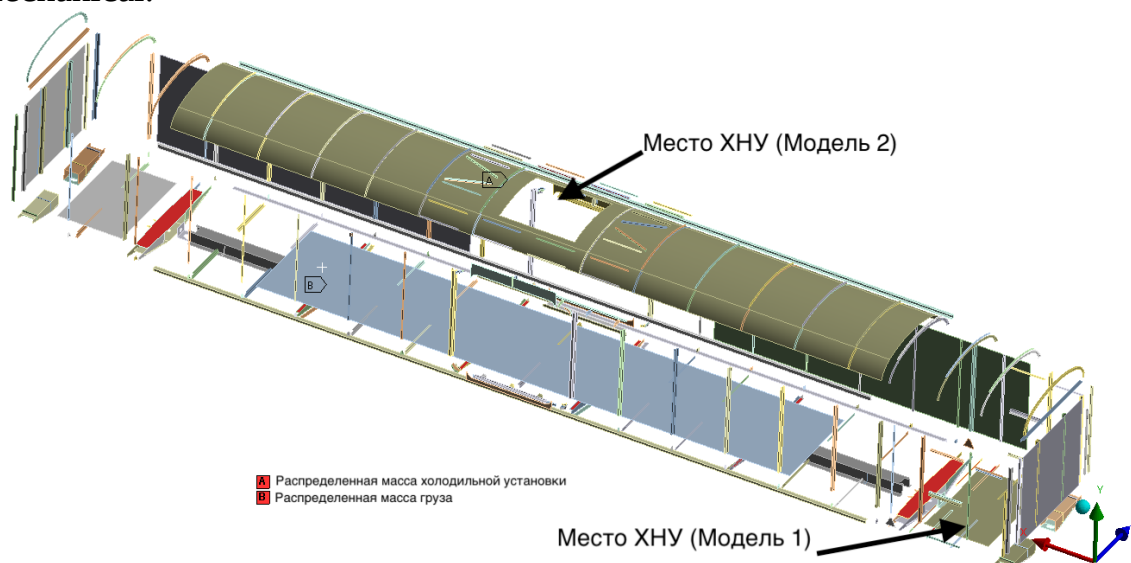


Рис. 1. Конструкция вагона и варианты размещения холодильного оборудования

МЕТОДЫ

Задача об изгибных колебаниях кузова сводится к уравнению 1:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\}, \quad (1)$$

где $[M]$ – матрица масс;

$[K]$ – матрица жесткости;

$\{u\}$ – вектор обобщённых координат.

Решение (1) можно представить в виде

$$\{u\} = \{\phi_i\} \cos \omega_i t \quad (2)$$

где ω_i – собственная частота колебаний или в герцах $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$;

$\{\phi_i\}$ – собственный вектор, представляющий форму колебаний на частоте ω_i

t – время.

После подстановки (2) в (1) получим:

$$\{\omega_i^2 [M] + [K]\}\{\phi_i\} = \{0\} \quad (3)$$

Для получения собственных частот колебаний требуется решить уравнение:

$$|[K] - \omega_i^2 [M]| = 0 \quad (4)$$

После получения решения (4) из (3) находят собственный вектор или форму колебаний $\{\phi_i\}$.

Ввиду того что число степеней свободы исследуемых моделей велико, для оценки значимости формы колебаний и частоты воспользуемся коэффициентом влияния (Participation factor) [10], определение которого представлено ниже. Нормализуем $\{\phi_i\}$ чтобы максимальное значение компонента стало равно единице.

$$\{\phi_i\}^T [M] \{\phi_i\} = 1$$

Тогда коэффициент влияния (Participation factor):

$$\gamma_i = \{\phi_i\}^T [M] \{D\}$$

где $\{D\}$ – вектор, описывающий перемещения (возмущения);

$\{\phi_i\}$ – собственный вектор.

Перемещения можно описать следующим образом:

$$\{D\} = [T]\{e\},$$

где $\{e\}$ – шесть возможных единичных векторов.

Матрица $[T]$ имеет вид:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & (Z - Z_0) & -(Y - Y_0) \\ 0 & 1 & 0 & -(Z - Z_0) & 0 & (X - X_0) \\ 0 & 0 & 1 & (Y - Y_0) & -(X - X_0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где X, Y, Z – координаты точки на модели в глобальной системе координат;

X_0, Y_0, Z_0 – координаты точки вокруг которой происходит вращение в глобальной системе координат.

В итоге имеем:

$$\{D\} = [D_1^\alpha D_3^\alpha D_3^\alpha, \dots D_j^\alpha]^T,$$

где D_j^α – j -тое возмущение в направлении α .

В нашем случае интерпретация y_i следующая, чем больше значение, тем более значимее форма колебаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате расчетов получено большое количество данных о частотах и формах колебаний, которые хорошо представляются графически в виде рисунков, приведем наиболее характерные формы колебаний, имеющих практический интерес.

Отнесем результаты для вагона без опор в первую группу, с опорами во вторую. Изгибные колебания первой группы базовой модели кузова показаны на Рис. 2, а с потолочным расположением ХНУ на Рис. 3.

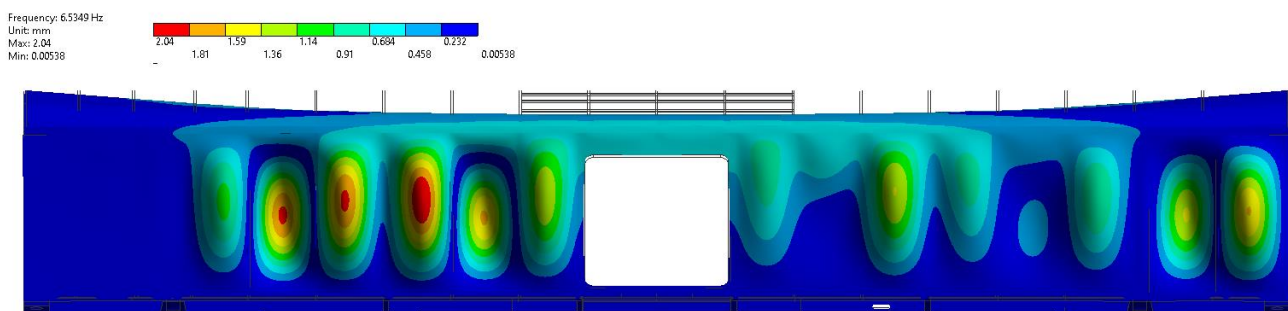


Рис. 2. Форма колебаний базовой модели кузова без опор

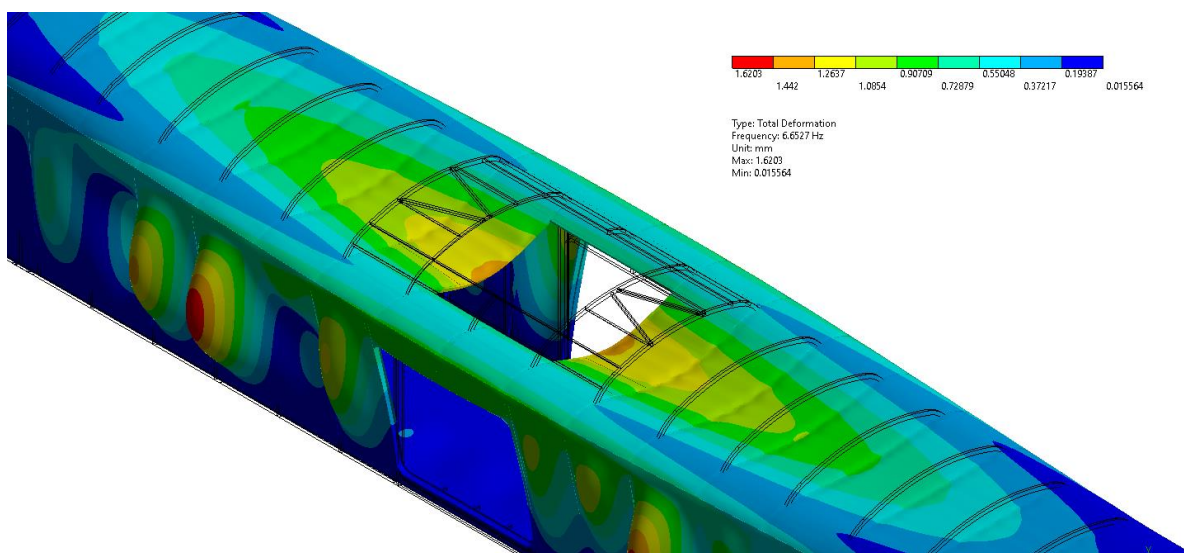


Рис. 3. Форма колебаний модели кузова без опор с потолочным расположением ХНУ

Колебания кузова на упругих опорах сложнее, но можно выделить два основных случая. В первом случае форма колебаний соответствует подпрыгиванию совместно с деформацией кузова, во втором деформация кузова происходит без подпрыгивания. Изгиб крыши и рамы вариантов кузова мало отличаются, поэтому на Рис. 4 и Рис. 5 показана модель с потолочным расположением ХНУ.

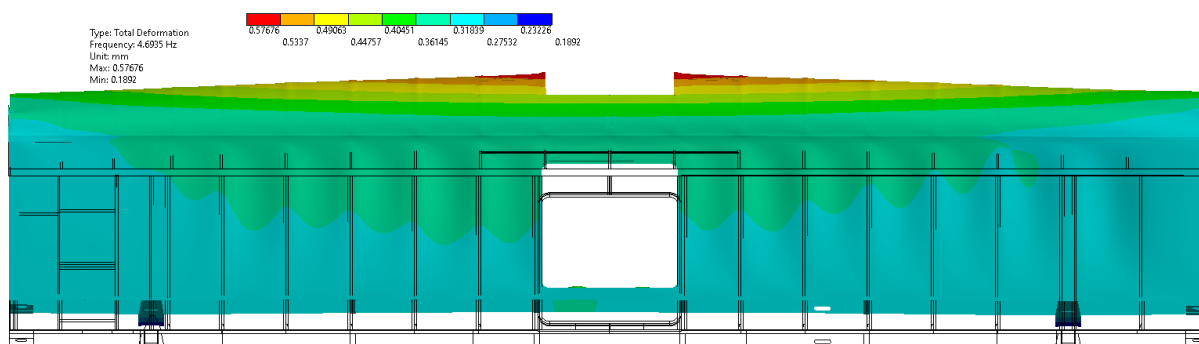


Рис. 4. Форма колебаний модели кузова на упругих опорах с потолочным расположением ХНУ (случай 1)

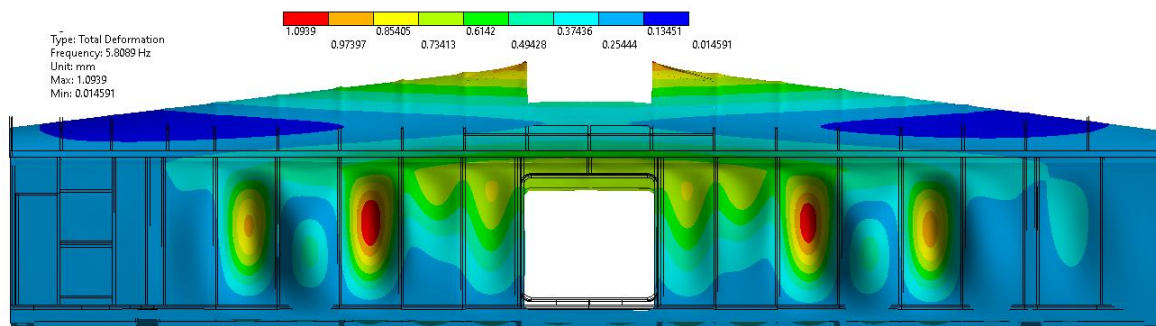


Рис. 5. Форма колебаний модели кузова на упругих опорах с потолочным расположением ХНУ (случай 2)

Полученные данные о частотах колебаний сведем в Табл.

Таблица. Частоты колебаний в зависимости от модели вагона и опирания

Условия моделирования	Вариант вагона				
	Модель 1, Гц	Модель 2, Гц	Модель 2, масса ХНУ 400 кг, Гц	Модель 2, масса ХНУ 700 кг, Гц	Модель 2, масса ХНУ 700 кг, вес груза 40 т, Гц
Упругие опоры (случай 1)	4,66	4,69	4,35	4,18	2,05
Упругие опоры (случай 2)	6,61	6,74	5,81	5,61	5,24
Без опор	6,53	6,65	5,45	5,11	5,24

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что частота колебаний мало меняется в зависимости от модели вагона и лежит в интервале 7–5 Гц, масса холодильной установки также не оказывает значительного влияния на частоту.

Анализ форм колебаний позволяет сделать вывод что наибольшие перемещения приходятся на крышу вагона.

Частоты колебаний порожнего кузова для случаев 1 и 2 оказались близки и при определенной комбинации жесткости рессорного подвешивания и массы груза возможно возникновение резонансных явлений, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований в этой области.

С учетом потребностей операторов изотермического подвижного состава в части вариативности температурных режимов внутри единого изотермического кузова в будущем предполагается рассмотрение варианта крышевого расположения, но с двумя погрузочными дверьми на каждой боковой стене кузова. Поэтому на основе полученных результатов выглядит целесообразным исследовать устойчивость конструкции крыши кузова вагона с крышевым расположением ХНУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Ворон О.А. Особенности конструкции универсального кузова для инновационных изотермических вагонов // Вестник БГТУ. – 2021. – № 8. – С. 77–86. [Voron O.A. Peculiarities of universal body design for innovation refrigerator cars. *Bulletin of bryansk state technical university*. 2021;8(105):77-86. (In Russ.)]. doi: 10.30987/1999-8775-2021-8-77-86

2. Скачков А.Н., Самошкин С.Л., Коршунов С.Д., Горин С.А. Анализ и оценка расчетно-экспериментального определения частоты изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов // Тяжелое машиностроение. – 2017. – № 9. – С. 24–31. [Samoshkin SL, Korshunov SD, Gorin SA. Analysis and evaluation of experimental observation of railroad passenger car body's bending frequency. *Tyazheloye Mashinostroyeniye*. 2017;9:24-31. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 04.08.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30458500>
3. Скачков А.Н., Самошкин С.Л. Разработка и обоснование принципов метода экспериментального определения параметров изгибных колебаний кузовов пассажирских вагонов нового поколения // Вестник РГУПС. – 2018. – № 1. – С. 59–64. [Skachkov AN, Samoshkin SL. Development and principles justification of the experimental determination method of bending vibrations parameters for new generation passenger wagons. *Vestnik rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018;1(69):59-64. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 04.08.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32711688>
4. Скачков А.Н., Самошкин С.Л., Коршунов С.Д. и др. Разработка основополагающих принципов экспериментального метода определения изгибной жесткости кузовов цельнометаллических вагонов // Тяжелое машиностроение. – 2018. – № 10. – С. 32–37. [Skachkov AN, Samoshkin SL, Korshunov SD, et al. Development of the fundamental principles of the experimental method for determining the flexural rigidity of the all-steel car cabs. *Tyazheloye Mashinostroyeniye*. 2018;10:32-37 (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36926409> Ссылка активна на: 04.08.2023.
5. Скачков А.Н., Самошкин С.Л., Коршунов С.Д. и др. Определение параметров изгибных колебаний кузовов вагонов и оценка ходовых динамических и эксплуатационных показателей электропоездов нового поколения // Вестник РГУПС. – 2018. – № 4(72). – С. 78–87. [Skachkov AN, Samoshkin SL, Korshunov SD, et al. Determination of bending vibrational parameters of car bodies and assessment of running dynamic and operational indicators of a new generation electric train. *Vestnik rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018;4(72);78-87 (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36784709> Ссылка активна на: 04.08.2023.
6. Гучинский Р.В. Расчет частоты собственных изгибных колебаний кузова вагона электропоезда с учетом податливости опор // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2(42). – С. 4–11. [Guchinsky RV. Calculation of the frequency of natural bending vibrations of the body of an electric train car taking into account the flexibility of the supports. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2019;2(42):4-11. (In Russ.)]. doi: 10.20291/2079-0392-2019-2-4-11. Ссылка активна на: 04.08.2023. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39193375>
7. Гучинский Р.В., Петин С.В. Предварительный расчет частоты собственных изгибных колебаний кузовов вагонов электропоездов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2019. – № 2(46). – С. 50–57. [Guchinsky RV, Petinov SV. Preliminary calculation of the frequency of natural bending vibrations of bodies of electric train cars. *Bulletin of the Institute of Natural Monopolies Problems: Rail- way Engineering*, 2019;2(46):50-57. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37576170>
8. Ворон О.А., Булавин Ю.П., Волков И.В. К вопросу выбора ходовых частей для перспективного изотермического подвижного состава // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4(72). – С. 63–70.

- [Voron OA, Bulavin YP, Volkov IV. To the question of the choice of running gears for perspective isothermal rolling stock. *Vestnik rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018;4(72):63-70. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 04.08.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36784707>
9. Волков И.В., Булавин Ю.П. Динамическая модель деформируемого кузова рельсового экипажа // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1(65). – С. 47–54. [Volkov IV, Bulavin YP. Dynamic model of deformable body of railway vehicle. *Vestnik rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2018;4(72):47-54. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862941> Ссылка активна на: 04.08.2023.
10. Clough RW, Penzien J. *Dynamics of Structures: Civil engineering series*. McGraw-Hill; 1993. 738 p. Available from: <https://books.google.ru/books?id=HxLakQEACAAJ>

Сведения об авторах:

Ворон Олег Андреевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство»;
eLibrary SPIN: 7913-3421; ORCID0000-0003-1282-3832;
E-mail: rgups_voron@mail.ru

Булавин Юрий Павлович, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 5233-0901; ORCID0000-0003-4557-6188;
E-mail: i@ibulavin.ru

Information about the authors:

Oleg A. Voron, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief of the Department Car and car facilities;
eLibrary SPIN: 7913-3421; ORCID0000-0003-1282-3832;
E-mail: rgups_voron@mail.ru

Yuri P. Bulavin, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences;
eLibrary SPIN: 5233-0901; ORCID0000-0003-4557-6188;
E-mail: i@ibulavin.ru

Цитировать:

Ворон О.А., Булавин Ю.П. Исследование изгибных колебаний силовых конструкций кузова рефрижераторного вагона при различных вариантах расположения энергохолодильного оборудования // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 32–40. doi: 10.17816/transsyst20239332-40

To cite this article:

Voron OA, Bulavin YP. Modal-based analysis of the refrigerated wagon body with different placements of energy refrigeration equipment. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):32-40. doi: 10.17816/transsyst20239332-40

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – наземные транспортно-технологические средства и комплексы

Направление – машины, агрегаты и технологические процессы

УДК [UDC] 62-592.6

DOI 10.17816/transsyst20239341-58

© А.Э. Юницкий^{1,2}, И.А. Кузьмин², С.С. Попко², И.Е. Лобазова¹

¹ООО «Астроинженерные технологии»

²ЗАО «Струнные технологии»

(Минск, Беларусь)

РАЗРАБОТКА ВИХРЕТОКОВЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ «ВТОРОГО УРОВНЯ» uST

Обоснование: В настоящее время перед человечеством остро встают вопросы поиска новых транспортно-инфраструктурных решений – более безопасных, более эффективных и экологически чистых. Одним из возможных путей решения данных задач является перемещение взаимодействующих и ограничивающих друг друга инфраструктурно-транспортных элементов в разные плоскости, в частности, перенос путевых структур и подвижного состава транспортных систем на «второй уровень». При возникновении нештатных ситуаций и при приближении юнимобиля (беспилотного рельсового электромобиля на стальных колесах) к зонам остановки, парковки и вхождении в крутые повороты на высоких скоростях, механическое торможение не всегда может гарантированно обеспечить безопасную остановку рельсового электромобиля в таких погодных условиях как ливень, обледенение пути, а также износ компонентов тормозной системы. Разработанные авторами вихретоковые замедлители (ВТЗ) позволяют решить данную проблему, минимизировав количество продуктов износа, поскольку тормозящая сила возникает за счет взаимодействия магнитных полей, при этом в такой тормозной системе отсутствует механический контакт.

Цель: Разработка энергонезависимого ВТЗ, конструкция которого обеспечивает стабильную работу без предъявления повышенных требований к точности позиционирования транспортного средства «второго уровня» uST.

Материалы и методы: В статье приводятся исследования образцов вихретоковых замедлителей с шинами из различного материала и компоновкой магнитов. Подтверждение экспериментальных данных проводилось с помощью компьютерной модели ANSYS Maxwell – метода конечных элементов.

Результаты: В статье представлены ВТЗ с оптимальным относительным расположением и ориентацией магнитов в сочетании с магнитопроводами, разработанные и рассчитанные методом математического моделирования, подтвержденного натурными испытаниями и экспериментами.

Разработанный ВТЗ (вариант №2) развивает требуемое усилие и, в отличие от ВТЗ (вариант №1) с классической компоновкой магнитной системы, способен работать

при неточном позиционировании юнимобилия как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

Закключение: Разработанные опытные образцы секций ВТЗ будут использованы в системах пассивной безопасности в качестве энергонезависимого замедлителя подвижного состава в городских, а также в транспортно-инфраструктурных комплексах uST применительно к любым природно-климатическим условиям нашей планеты.

Ключевые слова: Общепланетарное транспортное средство (ОТС), магнитное поле, вихревые замедлители, вихретоковое торможение, вихретоковый замедлитель (ВТЗ), транспортные комплексы uST, экваториальный линейный город.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – ground transport and technological means and complexes

Field – machines, aggregates and technological processes

© A.E. Unitsky^{1,2}, I.A. Kuzmin², S.S. Popko², I.E. Labazava¹

¹Astroengineering Technologies LLC

²Unitsky String Technologies Inc
(Minsk, Republic of Belarus)

DEVELOPMENT OF EDDY-CURRENT DECELERATORS FOR uST TRANSPORT COMPLEXES OF THE “SECOND LEVEL”

In case of emergency situations and when a uPod (an unmanned electric rail vehicle on steel wheels) approaches the areas of stopping, parking and enters sharp turns at high speeds, mechanical braking cannot always guarantee a safe stop of the electric rail vehicle under such weather conditions as rain, icing of the track, as well as wear of components in the braking system. The eddy-current decelerators (ECD) developed by the authors make it possible to solve this problem by minimizing the number of wear products, since the braking force arises due to the interaction of magnetic fields, while there is no mechanical contact in such a braking system.

Aim: Development of a non-volatile ECD, the design of which ensures stable operation without imposing increased requirements on the accuracy of vehicle positioning.

Materials and Methods: The article presents studies of samples of eddy current moderators with tires made of various materials and the layout of magnets. Confirmation of the experimental data was carried out using the ANSYS Maxwell computer model - the finite element method.

Results: The article presents ECDs with an optimal relative arrangement and orientation of magnets in combination with magnetic cores, developed and confirmed by mathematical modeling, confirmed by field tests and experiments.

The designed ECD (option No. 2) develops the required force and, unlike the ECD (option No. 1) with the classical layout of the magnetic system, is capable to operate at inaccurate positioning of a uPod in both horizontal and vertical planes.

Conclusion: The developed prototypes of ECD sections will be used in passive safety systems as an energy-independent rolling stock retarder in urban, as well as in high-speed and hyper-speed transport and infrastructure complexes uST in relation to any natural and climatic conditions of our planet.

Key words: General Planetary Vehicle (GPV), magnetic field, vortex decelerators, eddy-current braking, eddy-current decelerator (ECD), uST transport complexes, equatorial linear city.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей при разработке струнного транспорта [1], является обеспечение безопасного торможения при возникновении нештатных ситуаций, а также при приближении к зонам остановки, парковки, вхождения в крутые повороты [2]. Авторами статьи разработан опытный образец полномасштабной секции линейного вихретокового замедлителя (ВТЗ), не требующий дополнительной энергии и обеспечивающий работу ВТЗ при неточном позиционировании подвижной и неподвижной частей. Данная инновация может послужить основой для разработки и запуска в производство энергонезависимых систем безопасности.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

С целью повышения безопасности и во избежание последствий возможного отказа механических систем торможения, авторами предложено использование вихретоковых замедлителей, имеющих широкую перспективу применения и ряд потенциальных преимуществ, таких как бесконтактная работа, более быстрое срабатывание, меньшее количество компонентов и простота реализации различных контроллеров.

Однако описанные в литературе ВТЗ имеют и ряд недостатков: так авторами работ [3–4] применяются в качестве дополнительного оборудования приводы, использующие магнитные поля переменного тока с фиксированной и переменной частотой в различных формах волны как на низких, так и на высоких скоростях, что уменьшает надёжность ВТЗ и требует подвода внешнего питания. Авторами [5–7] рассмотрены ВТЗ с использованием компоновки магнитной системы, требующей подачи внешней энергии, что неблагоприятно влияет на экологию окружающей среды. В работах [8–14] предложены ВТЗ, имеющие компоновку магнитной системы с вращающимися частями и линейные ВТЗ, требующие высокой точности относительного расположения своих составных частей.

Как новый тип вспомогательного тормозного устройства юнимобиля, вихретоковый замедлитель с постоянными магнитами имеет широкую перспективу применения, обладая рядом преимуществ:

- плавно нарастающее (безударное) тормозящее усилие;
- отсутствие механически контактирующих деталей и, соответственно, износа, поэтому ВТЗ не загрязняет окружающую среду;
- тормозящее усилие зависит от скорости движения – чем выше скорость, тем больше усилие (до максимального значения усилия) и, соответственно, ускорение торможения, что сокращает тормозной путь;
- торможение является энергонезависимым;
- на величину тормозящего усилия не влияет состояние путевой структуры и природно-климатические условия, такие как дождь, снег, обледенение, жара, холод, пыль, туман и др.;
- длительный срок эксплуатации без обслуживания, который определяется лишь временем жизни магнитов (с последующим повторным намагничиванием или заменой магнитов на новые).

Применение ВТЗ на постоянных магнитах не требует использования внешних источников питания и, следовательно, повышает надежность системы и сокращает энергетические затраты [3].

Концепция применения системы вихретокового замедления заключается в том, что в случае нештатного приближении рельсового электромобиля к зоне с ограничением скорости со скоростью, превышающей номинальную для данного участка, в линейном вихревом замедлителе генерируется тормозящее усилие, замедляющее юнимобиль до номинальной скорости. Конструктивно возможный тормозной путь и величина тормозящего усилия позволяют обеспечить комфортное для пассажиров ускорение торможения [4–6].

В этой связи проведение исследований, связанных с разработкой перспективного опытного образца секции ВТЗ и оценкой его эффективности, является актуальным.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Авторами были исследованы тестовые образцы, отличающиеся материалом шины, наличием магнитопроводов, а также положением и ориентацией постоянных магнитов. Тестирование было проведено на специально разработанном и изготовленном испытательном стенде.

Конструктивно стенд представляет собой электродвигатель (Рис. 1), установленный на несущую раму и оснащенный системой управления оборотами двигателя. На вращающийся вал двигателя крепится диск-шина из исследуемого материала. Магнитная сборка установлена неподвижно с возможностью регулировки воздушного зазора в широком диапазоне.

Также на стенде установлена измерительная муфта для определения развиваемого крутящего момента.

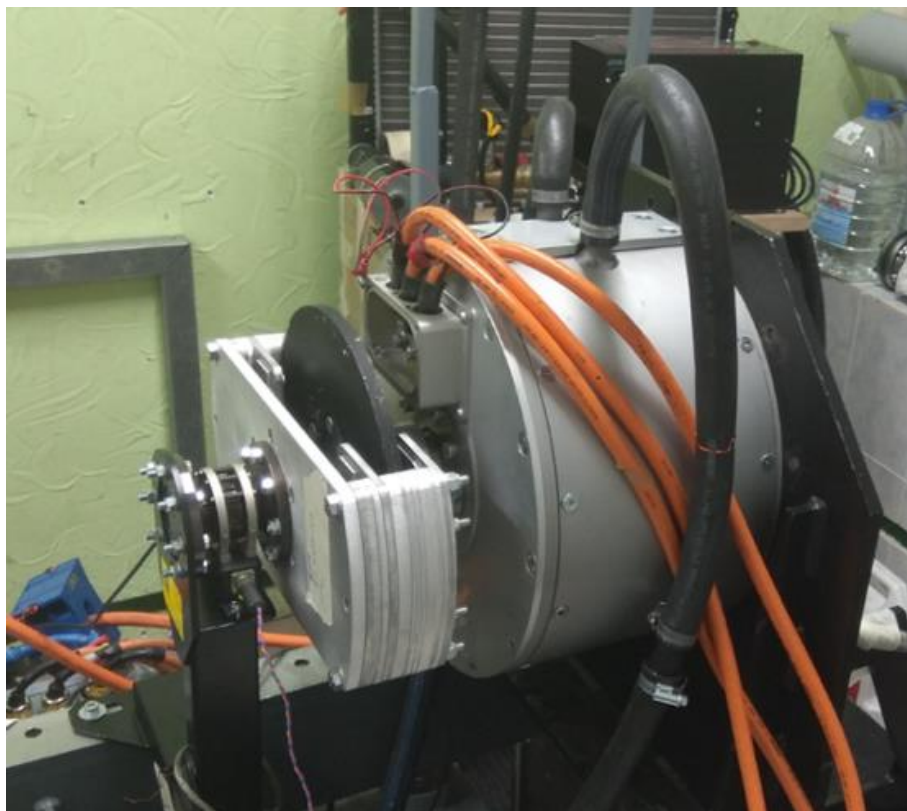
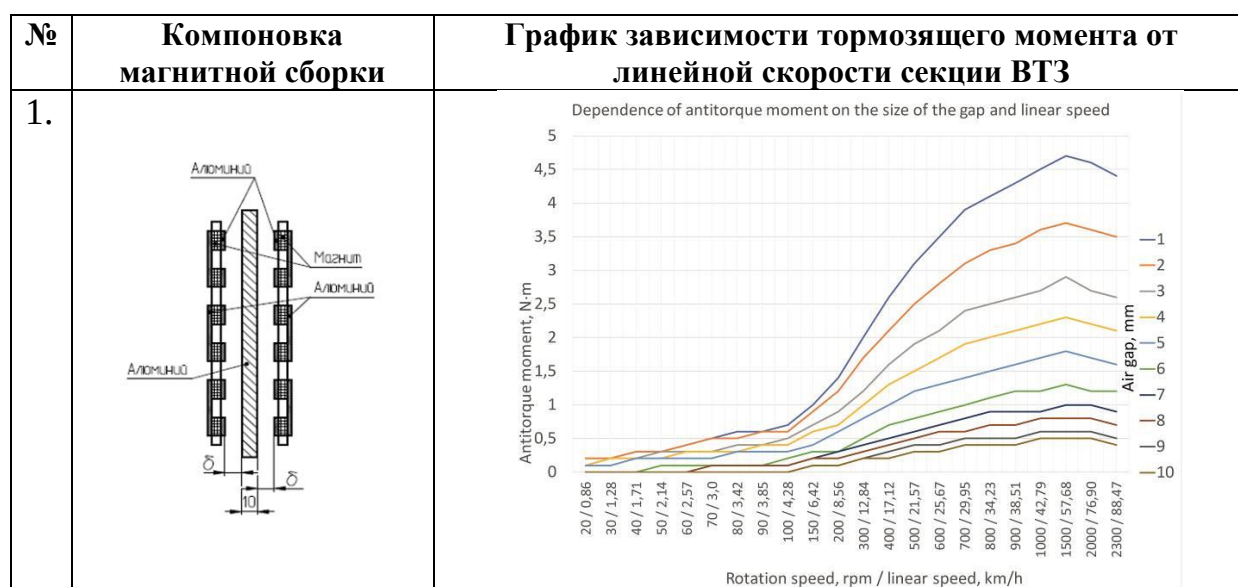
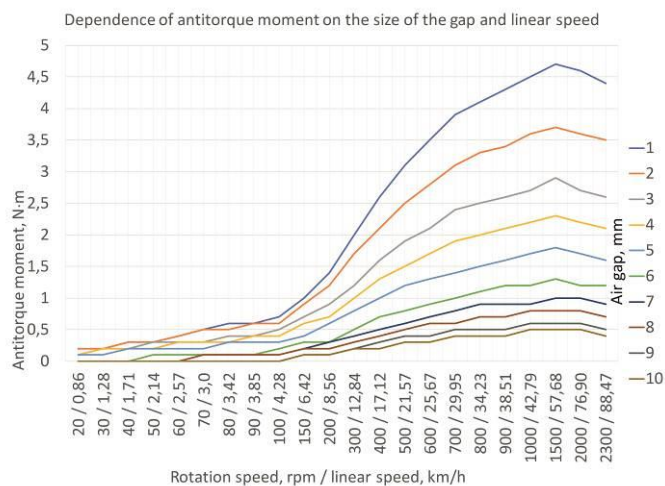
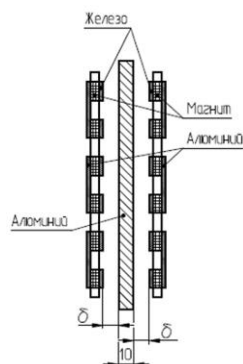


Рис. 1. Испытательный стенд с установленным тестовый образцом ВТЗ с различной компоновкой магнитов

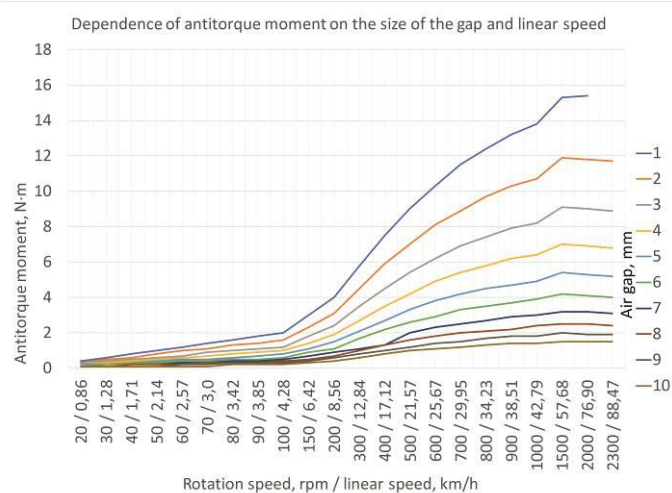
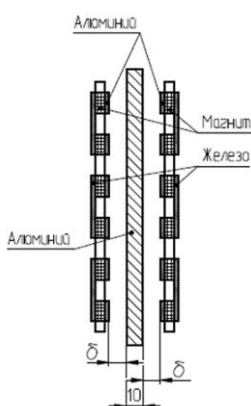
В ходе работы установлены зависимости величины тормозной силы от используемых материалов, конструктива, скоростей, зазоров, температуры и др. параметров для тестовых образцов с оценкой более 10 различных вариантов компоновки магнитной системы (Рис. 2).



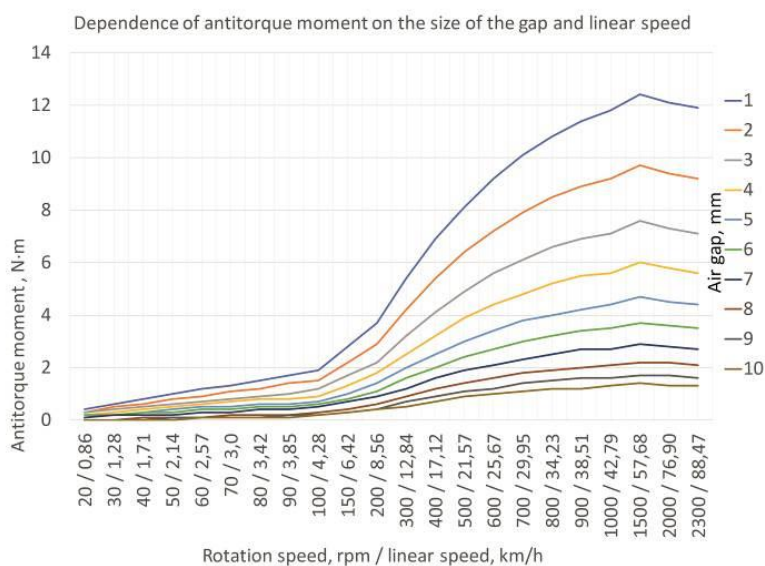
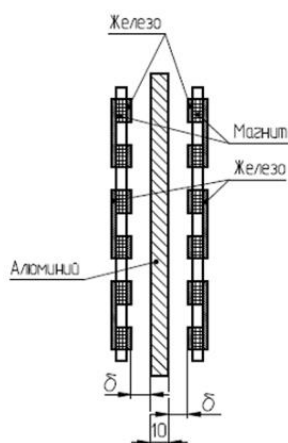
2.



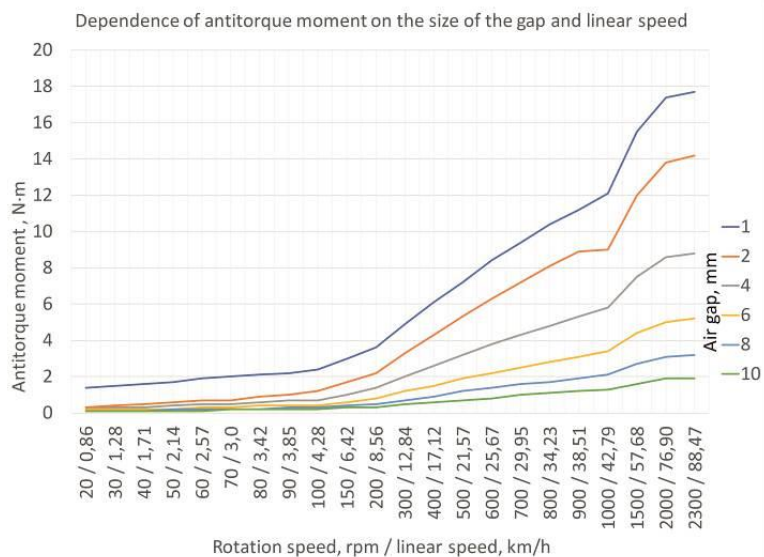
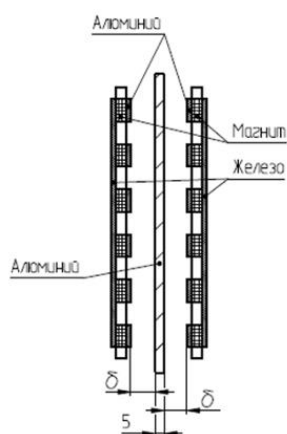
3.



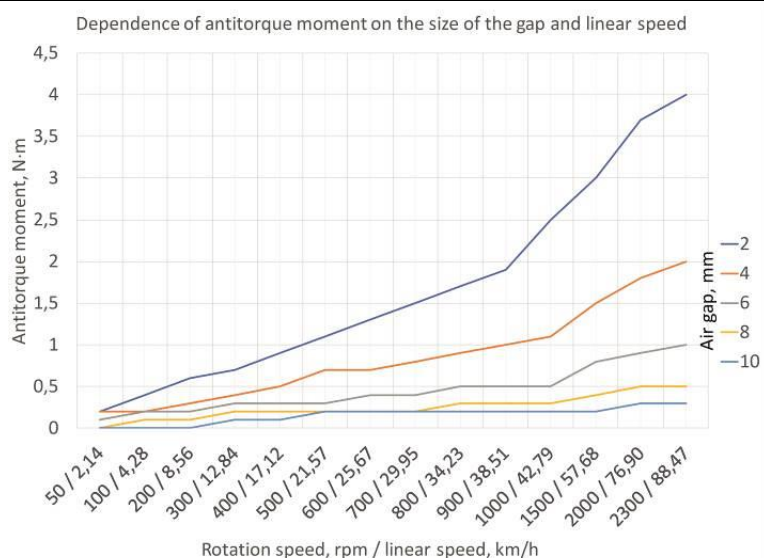
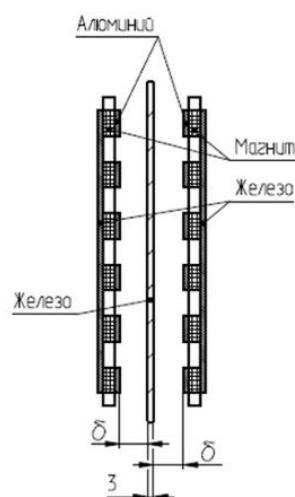
4.



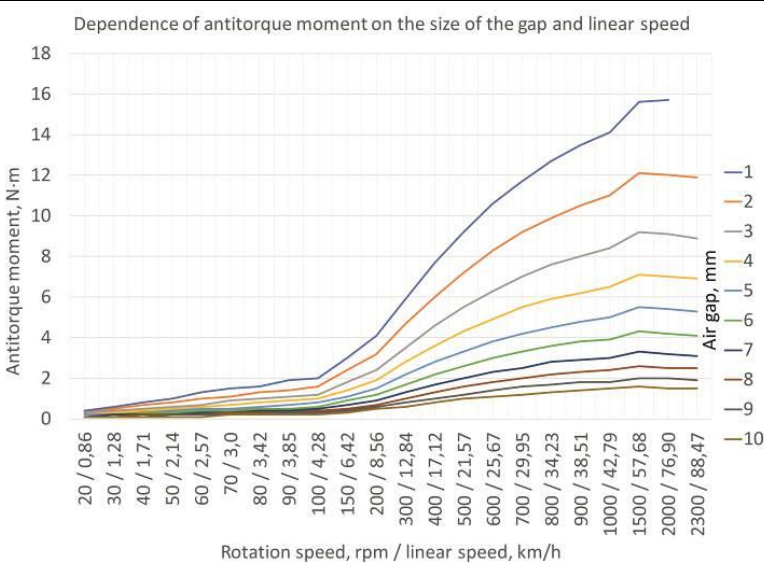
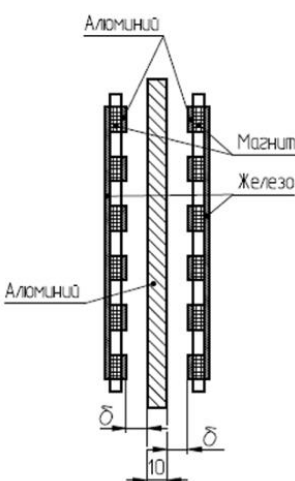
5.



6.



7.



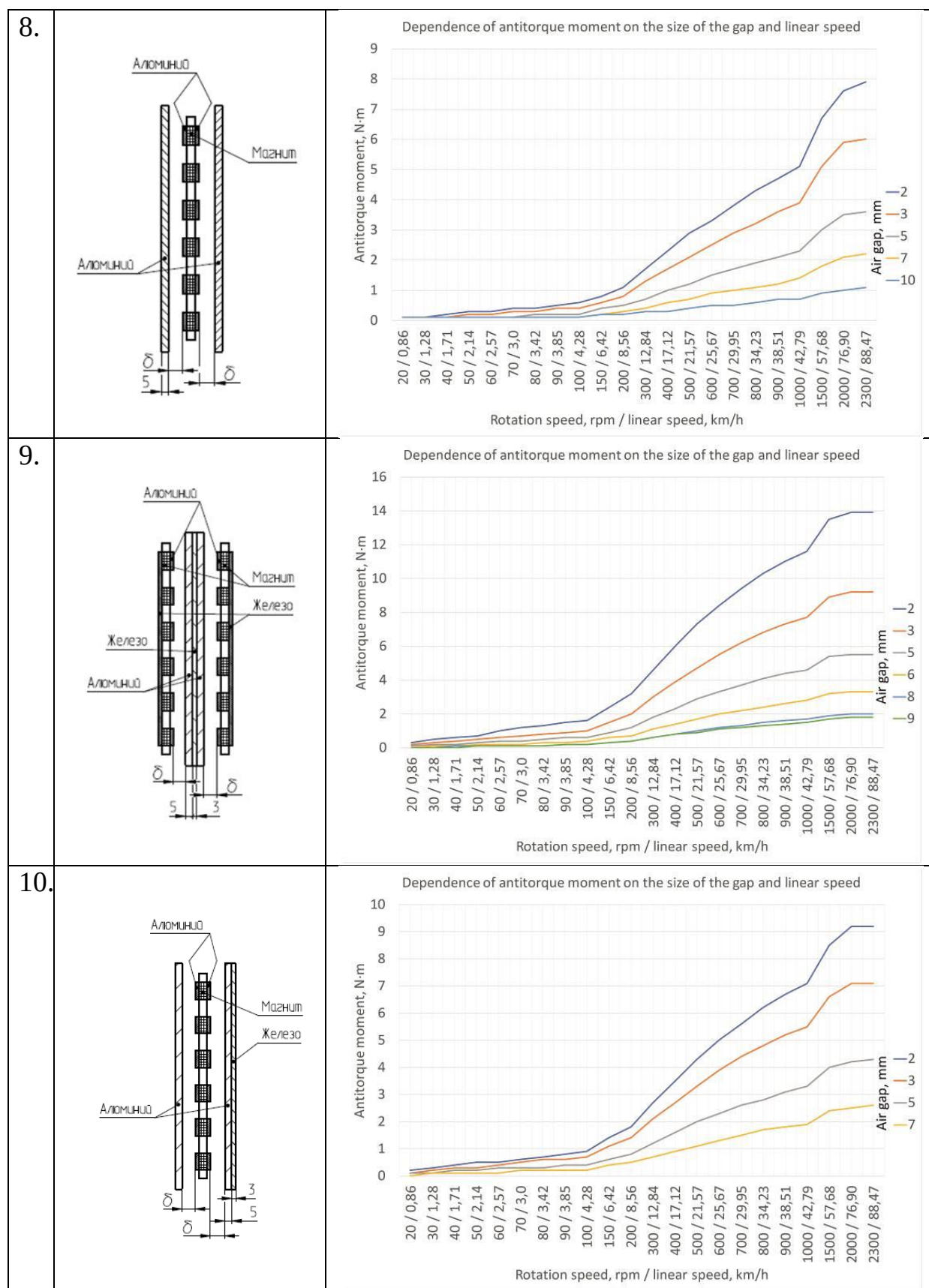


Рис. 2. Схемы и результаты исследования опытных образцов

В ходе исследований установлено, что величина момента сопротивления вращению значительно зависит от величины воздушного зазора между дисками и частоты вращения диска-шины и остается неизменной при повышении температуры диска-шины вплоть до +150 °С.

Результаты проведенных исследований показали, что максимальное удельное тормозящее усилие (в пересчете на 1 кг магнитов) получено на тестовом образце № 10 (с одной магнитной сборкой и двумя шинами), а максимальное абсолютное значение тормозящего усилия было получено на образце № 7 (с одной шиной и двумя магнитными сборками), компоновку которого целесообразно применять в дальнейшей разработке опытного образца секции ВТЗ.

Согласно данным протокола испытаний построены графики зависимости момента сопротивления вращению от величины зазора и скорости, которые показали, что при увеличении частоты вращения более 1500 об./мин. (линейная скорость 58 км/ч) тормозящее усилие выходит на «плато» (Рис. 2.7). Результаты исследований подтверждено, что при минимальных воздушных зазорах и прочих равных условиях медный диск-шина работает более эффективно, чем алюминиевый диск-шина, но на алюминиевой шине замечено, что характеристика нарастания тормозящего момента более пологая.

При сравнительном анализе секция ВТЗ с шиной из меди создает тормозящий момент на 15 % выше, чем секция ВТЗ с шиной из алюминия при тех же условиях эксплуатации. Однако, медная шина в несколько раз тяжелее, дороже алюминиевой и со временем на воздухе окисляется.

С целью минимизации массы рельсового электромобиля, снижения стоимости систем вихревого замедления, следует отдавать предпочтение шине из более легкого металла с более пологой характеристикой нарастания тормозящего усилия от скорости, что предпочтительнее для достижения требуемых показателей разрабатываемой секции ВТЗ.

На основании полученных результатов, авторами была выбрана компоновка магнитной системы № 7 для разработки секции ВТЗ № 1 (с классической компоновкой магнитов) с алюминиевой шиной.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕСТОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Для подтверждения экспериментальных данных тестовых образцов были проведены предварительные расчеты в программном комплексе ANSYS Maxwell 3D [15], построена компьютерная модель тестовых образцов и проведена ее валидация.

Математическая основа ANSYS Maxwell – метод конечных элементов, задача которого заключается в нахождении единственно возможного распределения электромагнитного поля в заданной расчетной

области при указанных граничных условиях и возбуждении. Применили параметрическую модель, в которой обозначен полный перечень параметров, влияющих в различной степени на величину тормозного усилия и соответственно на эффективность ВТЗ.

Тип расчета (Solution type) – динамический (transient).

В расчетной модели выделены четыре «домена»:

- *Base* – домен, соответствующий телу шины, в которой возникают вихревые токи при движении магнитного поля; неподвижен в процессе расчета, сетка постоянна;
- *Magnet* – домен, соответствующий магнитной сборке; состоит из магнитов; в процессе расчета движется в объеме домена *Band*, сетка постоянна;
- *Band* – домен, в объеме которого происходит движение домена *Magnet*; на каждом шаге расчета в объеме происходит перестроение конечно-элементной сетки; границы домена не должны пересекаться с доменами *Magnet* и *Base*;
- *Region* – домен «дальнего поля»; создается специальной вставкой.

Каждому объему можно задать свой материал (Assign material).

Материал шины по умолчанию – алюминий.

Для задания поступательного движения добавлены граничное условие MotionSetup, где задана скорость V , а в случае учета механики движения – начальная скорость V , масса тела, демпфирование и движущая сила при их наличии.

Кроме этого, обязательно установлен для домена *Base* эффект вихревых токов (Set Eddy Current).

В качестве результатов расчета на каждом шаге можно вывести плотность вихревых токов в теле шины (Рис. 3), величину электромагнитной индукции в векторной форме или в виде изополей (Рис. 4).

1. Для практического использования наибольший интерес представляют графики тормозящего усилия, которое приводит к падению скорости движения элементов домена *Magnet* (Рис. 5, 6). Данные результаты позволяют в дальнейшем получить зависимости суммарного тормозного усилия магнитной сборки от относительной скорости движения, что в свою очередь позволяет рассчитать динамику торможения юнимобиля с помощью ВТЗ, спроектированного на базе рассчитанных магнитов и шины [16, 17].

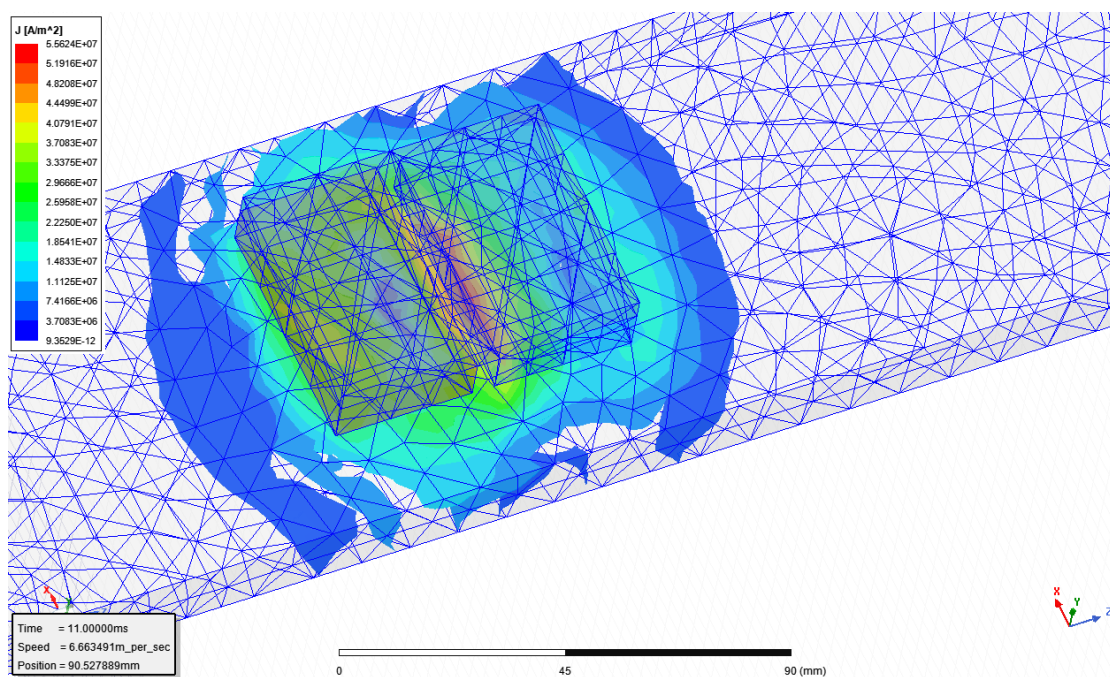


Рис. 3. Плотность вихревых токов в теле алюминиевой шины (в A/m^2)

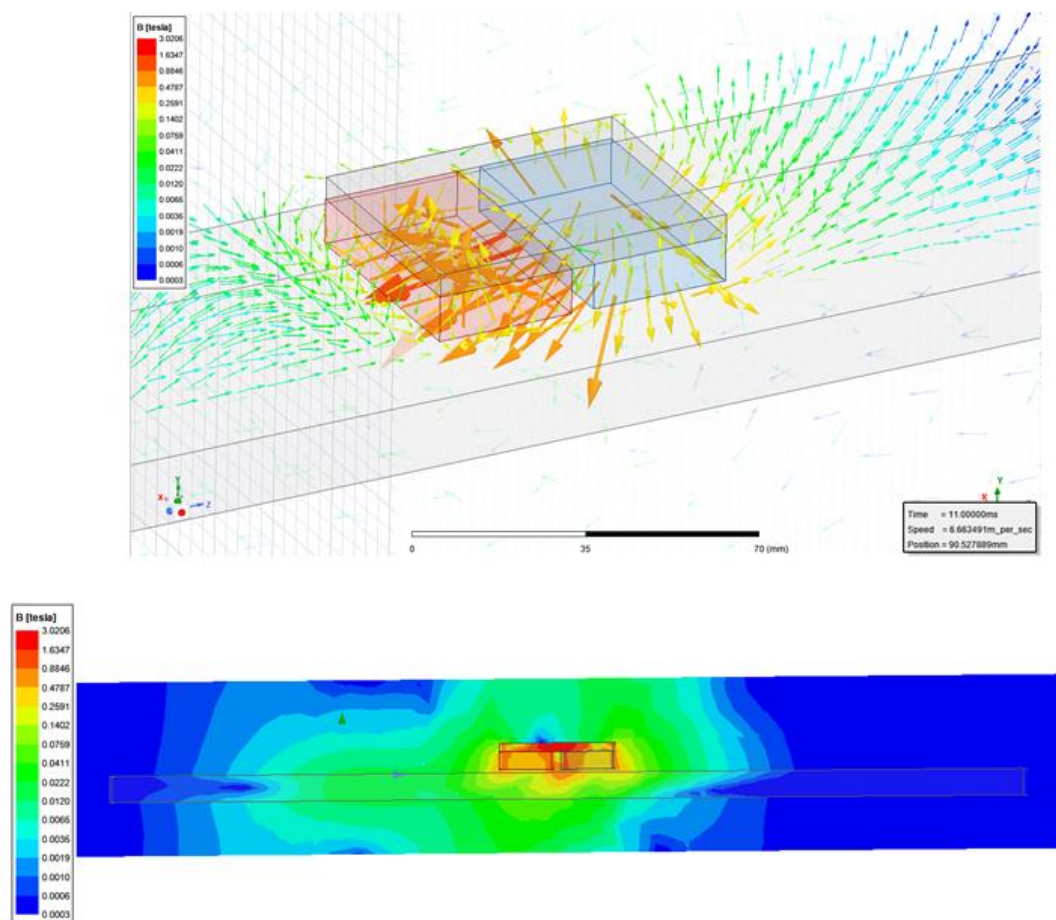


Рис. 4. Распределение электромагнитной индукции (в Тл)

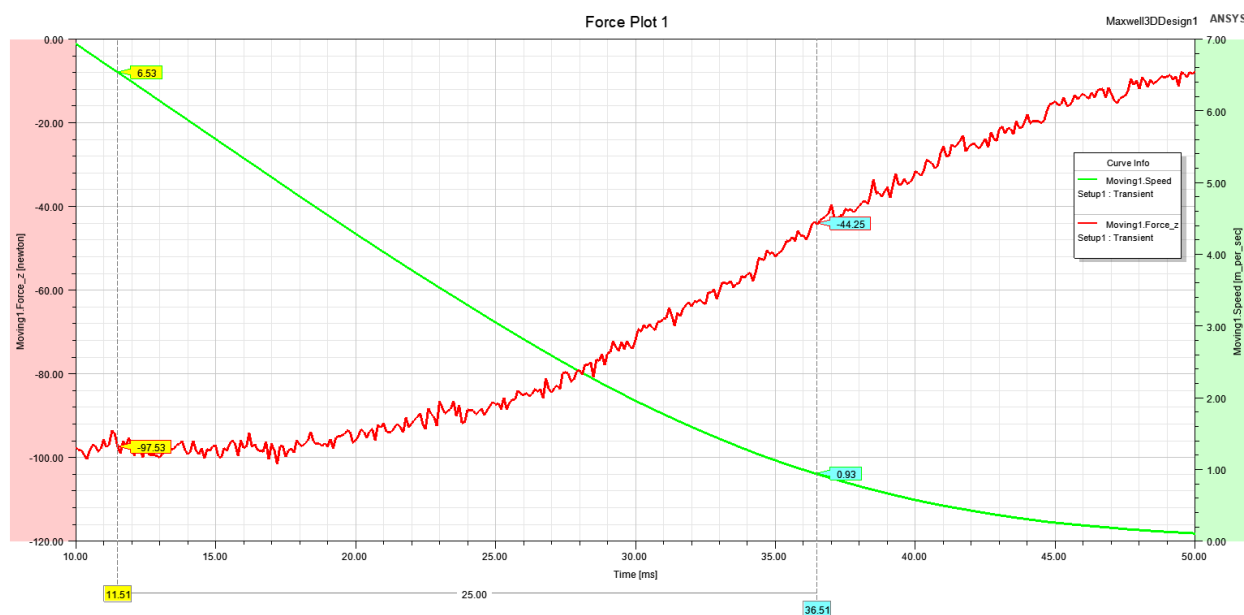


Рис. 5. График тормозного усилия (в Н, красный) и скорости движения (в м/с, зеленый) от времени динамического процесса (в мс)

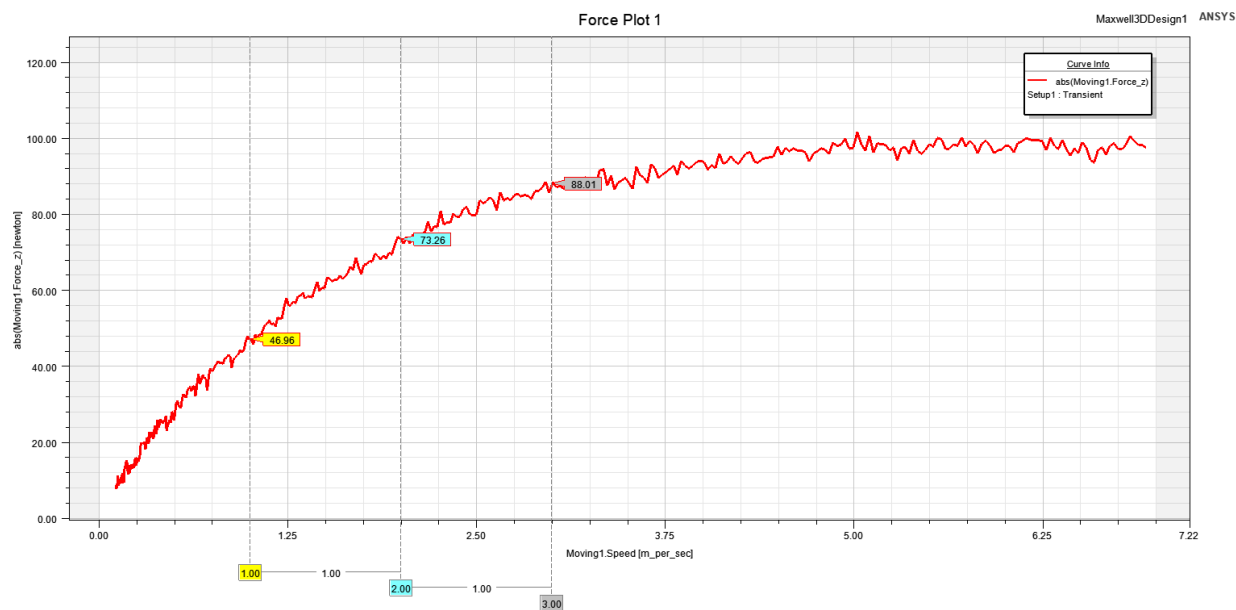


Рис. 6. Обработка данных в постпроцессоре

График тормозного усилия (в Н) от скорости движения (в м/с), который необходим для расчёта динамики торможения посредством ВТЗ на базе рассчитанного сочетания «магниты-шина».

На основании полученных результатов были сконструированы два варианта компоновки опытных образцов секций ВТЗ, приведенные на Рис. 7:

- опытный образец № 1, магнитная сборка в котором размещена на подвижной каретке, а шина размещена на стационарной колонне;
- опытный образец № 2, магнитная сборка в котором установлена на стационарной колонне, а шина закреплена на подвижной каретке с механизмом поджима шины к магнитной сборке.

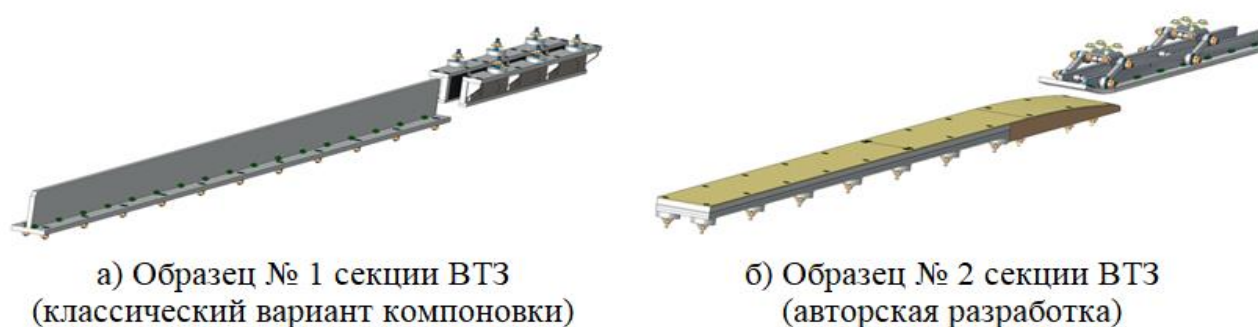


Рис. 7. Опытные образцы секции ВТЗ

На основании полученной компьютерной модели провели математический расчет компоновки опытных образцов № 1 и № 2 секции ВТЗ с последующей валидацией по результатам испытаний рассчитанных, спроектированных и изготовленных опытных образцов секции ВТЗ.

Далее были проведены испытания опытных образцов и оценены технические характеристики обоих вариантов компоновки ВТЗ, определена зависимость тормозящего усилия от массы подвижной части и линейной скорости.

В результате проведенных исследований было выявлено, что в образце № 1 все 12 магнитов одновременно участвуют в процессе создания тормозящего усилия на всем тормозном участке длиной 2 м, а в образце № 2 – в процессе создания тормозящего усилия участвует группа из семи магнитов, расположенных напротив движущейся каретки с шиной, при этом тормозной путь равен 1,5 м.

Таким образом, образец № 1, представляющий собой магнитную сборку, размещенную на подвижной каретке, и шину, размещенную на стационарной колонне, развивает большее удельное тормозящее усилие, благодаря одновременному участию всех магнитов. Однако, такая компоновка магнитов очень чувствительна к точности позиционирования подвижной части ВТЗ относительно стационарной части ВТЗ. Величина воздушного зазора для нормальной работы составляет 5–7 мм. Данный

зазор с требуемой точностью сложно обеспечить для крупногабаритных транспортных средств. Поэтому, для транспортных комплексов второго уровня предпочтительнее применение ВТЗ образца № 2, который обеспечивает стабильную работу, не предъявляя повышенных требований к точности позиционирования транспортного средства.

ВАЛИДАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ

Валидация (определение степени соответствия расчетной модели реальному физическому объекту) проведена для обоих опытных образцов секции ВТЗ. На Рис. 8 приведены графики величин, полученные экспериментальным путем (обозначены TEST) и по результатам моделирования в программе ANSYS Maxwell 3D (обозначены MAXWELL 3D) для образца № 2.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод что компьютерные модели в достаточной степени точно отражают поведение реальных физических моделей, а примененное программное обеспечение ANSYS Maxwell 3D и настройки решения могут быть в дальнейшем использованы, в частности, для проведения подобных виртуальных тестов без надобности трудоемких и дорогостоящих натурных экспериментов, и в общем, для разработки методики по проектированию и расчёту систем вихретокового замедления.

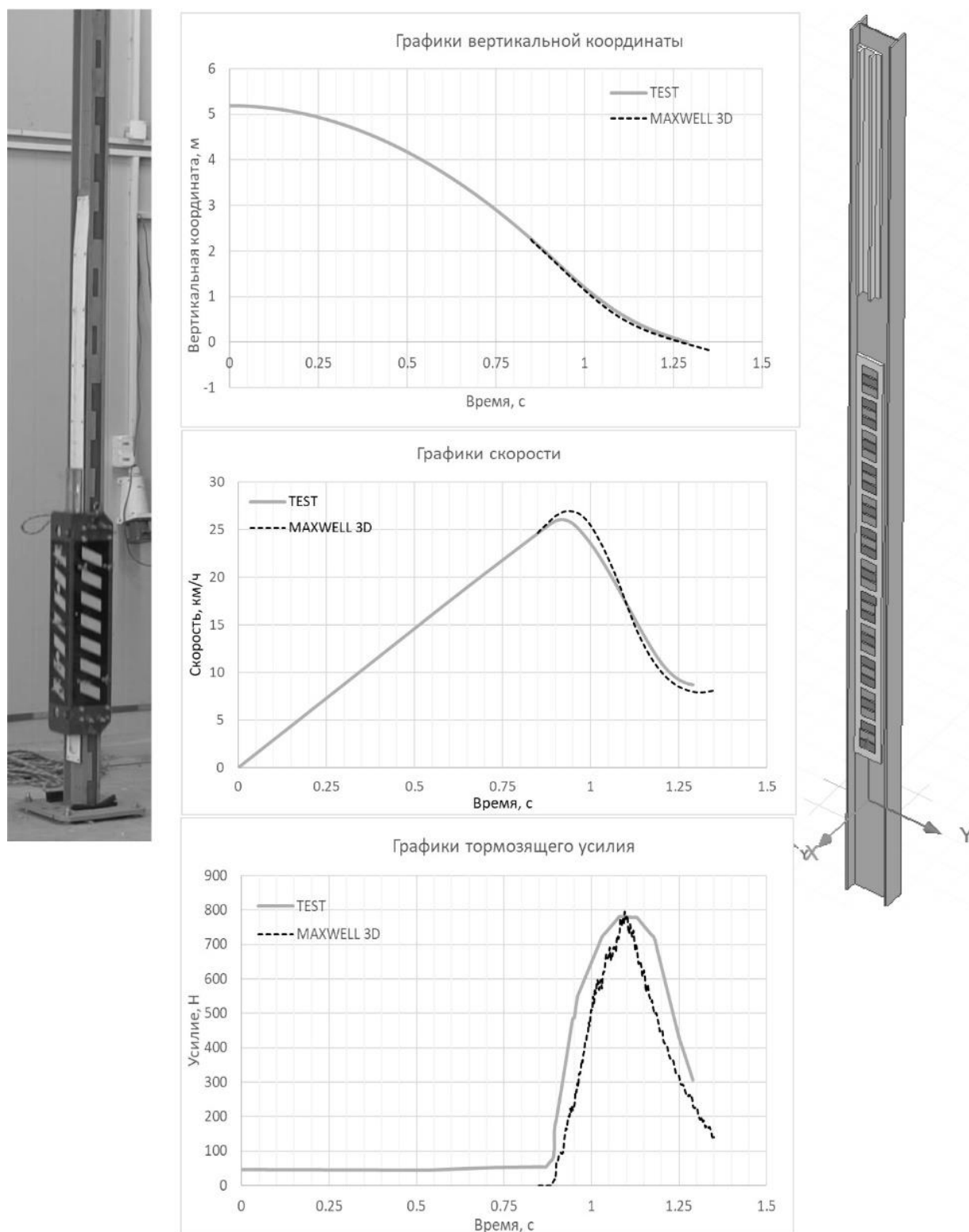


Рис. 8. Сравнение результатов эксперимента и моделирования ВТЗ

Ось абсцисс на графиках – время в секундах на основании файла Образец 2_C0001.txt при падении каретки с высоты 5,2 метра, магнитная сборка из 36 магнитов 50x30x10 закреплена на стойке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что максимальное удельное тормозящее усилие получено на тестовом образце № 10, а максимальное абсолютное значение тормозящего усилия было получено на образце № 7.

На основании вышесказанного были спроектированы 2 опытных образца секции ВТЗ: с классической компоновкой магнитной системы (Образец № 1) и с механизмом поджима шины (Образец № 2).

Было выполнено компьютерное моделирование опытных образцов секции ВТЗ с применением программного пакета конечно-элементного анализа ANSYS Maxwell. Проведена валидация компьютерного моделирования, погрешность по тормозящему усилию составила не более 3 %, что позволяет утверждать о хорошей достоверности получаемых результатов.

Таким образом, в результате проведенных исследований был разработан, подтвержден расчетами и натурными испытаниями авторский энергонезависимый ВТЗ, конструкция которого обеспечивает стабильную работу без предъявления повышенных требований к точности позиционирования транспортного средства «второго уровня» uST.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность генеральному директору ЗАО «Струнные технологии» Н.Г. Косаревой за финансовую поддержку при проведении экспериментов.

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. Юницкий А.Э. Транспортные системы «второго уровня»: современное состояние и перспективы развития / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский, Д. И. Бочкарев // Горная механика и машиностроение. – 2022. – № 4. – С. 39 – 56.
2. Юницкий А.Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе: / под.ред. А.Э. Юницкого. – Силагрос: ПНБ, 2019. [Unitsky AE. Strunnye transportnye sistemy: na Zemle i v Kosmose. Unitsky AE. editor. Silagros:PNB; 2019. 576 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.06.2023. Доступно по: https://unitsky.engineer/assets/files/shares/2019/2019_26ru.pdf
3. Karakoc K, Park EJ, Suleman A. Improved braking torque generation capacity of an eddy current brake with time varying magnetic fields: a numerical study. *FiniteElem.Anal.Des.* 2012;(59):66-75. doi: 10.1016/j.finel.2012.05.005

4. Sinha G, Prabhu SS. Analytical model for estimation of eddy current and power loss in conducting plate and its application. *Phys.Rev.Spec.Top.:Accel.Beams*. 2011;14(6):062401-1-10. doi: 10.1103/physrevstab.14.062401
5. Karakoc K, Sauleman A, Park JE. Analytical modeling of eddy current brakes with the application of the time varying magnetic fields. *Applied Mathematical Modelling*. 2016;(40):1168-1179. doi: 10.1016/j.apm.2015.07.006
6. Niu B, Wang D, Pan P. Multi-objective optimal design of permanent magnet eddy current retarder based on NSGA-II algorithm. *Energy Reports*. 2022;(8):1448-1456. doi: 10.1016/j.egyr.2021.11.165
7. Eddy-current brakes of rail transport [Internet]. [cited 2021 August 9]. Available from: http://www.ipem.ru/files/files/tzd_web_versions/tzd_32_web_full.pdf
8. Forrister, T. Eddy current braking systems as a way to get rid of friction in rail transport [Internet]. [cited 2021 August 16]. Available from: <https://www.comsol.ru/blogs/how-eddy-current-braking-technology-is-freeing-us-from-friction/>
9. Озолин А.Ю. Торможение машин системами с постоянными магнитами: дис. канд. техн. наук. – СПб; 2009. – 19 с. [Ozolin AYu. Tormozhenie mashin sistemami s postoyannymi magnitami [dissertation]. St. Petersburg; 2009. 19 p. (In Russ.)].
10. Simeu E, Georges D. Modeling and control of an eddy current brake *Control Engineering Practice*. 1996;4(1):19-26. doi.org:10.1016/0967-0661(95)00202-4
11. Canova A, Vusini B. Analytical modeling of rotating eddy-current couplers, *IEEE Transactions on Magnetics*. 2005;41(1):24-35. doi.org: 10.1109/tmag.2004.839730
12. Shin K.-H, Park H.-I, Cho H.-W, Choi J.-Y. Semi-three-dimensional analytical torque calculation and experimental testing of an eddy current brake with permanent magnets, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2018;28(3):1-5. doi: 10/1109/tasc.2018.2795010
13. Linear Magnetic Brakes [Internet]. [cited 2022 September 16]. Available from: <https://www.h2wtech.com/page/linear-magnetic-brakes>
14. Lu X, Li Y, Wu M, et al. Rail temperature rise characteristics caused by linear eddy current brake of higt-speed train. *J of Traffic and Transportation Eng*. 2014;1(6):448-456. doi: 10.1016/s2095-7564(15)30295-6
15. User's guide – Maxwell 3D, 2005, Ansoft Corporation. [cited 2023 June 6]. Available from: http://ansoft-maxwell.narod.ru/en/CompleteMaxwell3D_V11.pdf

Сведения об авторах:

Юницкий Анатолий Эдуардович, председатель совета директоров и генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии» и ООО «Астроинженерные технологии», eLibrary AuthorID: 534122, ORCID: 0000-0003-1574-3539; E-mail: a@unitsky.com

Кузьмин Игорь Александрович, ведущий инженер-конструктор ЗАО «Струнные технологии»; ORCID: 0000-0002-7521-9184; E-mail: i.kuzmin@unitsky.com

Попко Сергей Сергеевич, инженер ЗАО «Струнные технологии»; ORCID:0009-0007-1997-6838; E-mail: s.popko@unitsky.com

Лобазова Ирина Евгеньевна, к.х.н; ведущий специалист по научным разработкам и исследованиям ООО «Астроинженерные технологии»;
eLibrary AuthorID: 600280, ORCID: 0000-0002-2796-3582;
E-mail: i.lobazova@aet.space

Information about the authors:

Anatoli E. Unitsky Chairman of the Board of Directors, General Designer of Astroengineering Technology LLC and Unitsky String Technologies Inc.
eLibrary AuthorID: 534122, ORCID: 0000-0003-1574-3539;
E-mail: a@unitsky.com

Igor A. Kuzmin, Leader design engineer, UST Inc.
ORCID: 0000-0002-7521-9184;
E-mail: i.kuzmin@unitsky.com

Sergey S. Popko, Engineer, UST Inc. ORCID:0009-0007-1997-6838
E-mail: s.popko@unitsky.com

Iryna E. Labazava PhD (Chemistry), Head of R&D Astroengineering Technology LLC;
eLibrary AuthorID: 600280, ORCID: 0000-0002-2796-3582;
E-mail: i.lobazova@aet.space

Цитировать:

Юницкий А.Э, Кузьмин И.А, Попко С.С, Лобазова И.Е. Разработка вихретоковых замедлителей для транспортных комплексов «второго уровня» uST // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 41–58. doi: 10.17816/transsyst20239341-58

To cite this article:

Unitsky AE, Kuzmin IA, Popko SS, Labazava IE. Development of eddy-current decelerators for uST transport complexes of the “second level”. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):41-58. doi: 10.17816/transsyst20239341-58

Рубрика 3. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Направление – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

УДК [UDC] 656.027

DOI 10.17816/transsyst20239359-74

© В.Н. Трегубов¹, П.А. Сайфутдинова², В.А. Рощупкин²

¹Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
(Саратов, Россия)

²Landau Interactive
(Екатеринбург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ОПЫТА ДЛЯ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ ЭКСПРЕСС-ДОСТАВКИ

Цель: тестирование и сравнение интернет-ресурсов транспортно-логистических компаний экспресс-доставки на предмет удобства использования их сайтов, скорости оформления заказов, соответствию предлагаемых услуг потребностям пользователей, соразмерности ожиданий пользователей и получаемого результата, а также наличию проблемных точек при оформлении заказа на экспресс-доставку.

Материалы и методы: для проведения экспериментальных качественных исследований использовалась методика удаленного модулируемого тестирования и методика изучения субъективной удовлетворенности пользователя на основе анкеты SUPR-Q, которую мы адаптировали под наше исследование.

Результаты: в ходе исследования для каждой компании была составлена обобщенная карта пути пользователя, которая отражает точки взаимодействия пользователя с интерфейсом, его мотивацию, эмоции, барьеры и драйверы на каждом этапе выполнения заказа по экспресс-доставке. Выполнено сравнение компаний по критериям общей удовлетворенности пользователей и скорости выполнения заданий.

Заключение: в результате проведенного исследования удалось выявить ряд ошибок в пользовательских сценариях на сайтах исследованных компаний экспресс-доставки, устранение этих ошибок и совершенствование интерфейса сайтов позволит компаниям улучшить пользовательский опыт клиентов.

Ключевые слова: логистика, экспресс-доставка, пользовательский опыт, срочная доставка, SUPR-Q, Dark Store, юзабилити-тестирование.

Rubric 3. TRANSPORT SYSTEMS

Field – Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport

© V.N. Tregubov¹, P.A. Saifutdinova², V.A. Roshchupkin²

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
(Saratov, Russia)

²Landau Interactive
(Yekaterinburg, Russia)

RESEARCH OF USER EXPERIENCE OF TRANSPORT AND LOGISTICS COMPANIES' SITES FOR EXPRESS DELIVERY

Aim: to test and compare sites of transport and logistics companies on the ease of use and speed of processing orders, analysis of compliance with the proposed service users, the proportionality of user expectations and the result obtained, as well as the presence of problematic points in the ordering of express delivery.

Materials and Methods: to conduct experimental qualitative research we used the methodology of remote moderated testing and a survey of subjective user satisfaction based on the questionnaire SUPR-Q, which was adapted for our study.

Results: the research produced a generalized user path map for each company, which reflects the user's points of interaction with the interface, their motivations, emotions, barriers and drivers at each stage of the express delivery order.

Conclusion: As a result of the study we were able to identify a number of errors in user scenarios on the sites of express delivery companies, eliminating these errors and improving the interface of the sites will allow companies to improve the user experience.

Key words: logistics, express delivery, custom experience, rush delivery, SUPR-Q, Dark Store, usability testing.

ВВЕДЕНИЕ

Экспресс-доставка в логистике относятся к понятиям, которые до настоящего момента не имеют конкретного и единого определения. Условия оказания услуг, которые относятся к экспресс-доставке, достаточно сильно отличаются как в различных магазинах или транспортно-логистических компаниях, так и в разных странах мира. К экспресс-доставке могут относиться как товары с доставкой в течение ближайшего часа, так и с доставкой до двух дней, а стоимость доставки и ее условия существенно отличаются для различных товарных групп [1].

Изначально экспресс-доставка подразумевала доставку груза документарного или компактного характера по стране в течение четырех дней. Услуга стоила достаточно дорого, объем спроса на такие услуги был не очень большим. С 1984 года в России эту услугу представляла компания DHL, которая являлась мировым лидером на рынке экспресс-доставки. Постепенно бизнес-модель DHL стала перениматься другими компаниями, а спектр доставляемых товаров существенно расширился [2].

В настоящее время содержание услуги по экспресс-доставке сильно поменялось, особенно за последние несколько лет. Значительно выросли требования по скорости доставки, многие обычные доставки настоящего времени десять лет назад относились бы к сфере экспресс-доставки. Стали активно использоваться инновационные методы логистики, которые позволяют обеспечить высокую скорость доставки, сохранность груза и своевременность прибытия товаров. Актуальность новых технологий

доставки в рамках транспортной системы страны обусловлена резким ростом объемов интернет-торговли и развитием маркетплейсов.

Распространение и востребованность срочной доставки существенно зависит от товарной ниши, в которой работает магазин. Наиболее высокая скорость доставки характерна для цветов и продуктов питания. Поэтому более 80 % магазинов, работающих в этой категории, предлагают доставку за несколько часов, а 95 % предлагают доставку в тот же день [3].

Основные товарные категории, для которых чаще всего сейчас используется экспресс-доставка – это документы, еда и лекарства. За последние несколько лет, доставка готовой еды в крупных городах в течение часа или двух стала привычной услугой.

Сами покупатели по-разному определяют, что относится к экспресс-доставке, а что нет. Например, по результатам исследований [4] половина опрошенных считает, что экспресс может считаться доставкой в течение двух часов после заказа, а доставку на следующий день экспресс считают только 10 % покупателей. Основным стимулом использования экспресс-доставки является возникновение сложной нетипичной ситуации. Например, требуются лекарства или произошла поломка бытовой техники.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Современные логистические технологии, которые используются в системах экспресс-доставки, являются объектом научных исследований и тематических обзоров. Рассмотрим некоторые из них.

В исследовании [5] показано, что организация срочной доставки продуктов подразумевает использование логистики, которая отличается от обычной.

Наибольшие объемы экспресс-доставки продуктов организовываются чаще всего двумя способами:

- через Dark Stores или другие виды промежуточных складов быстрого доступа;
- с привлечением курьеров.

Компании по экспресс-доставке предлагают широкий спектр различных видов услуг, связанных с приемом и отправкой почтовой корреспонденции, бандеролей и посылок, оказанием услуг экспедирования и т.д. В процессе логистической обработки каждое отправление проходит множество логистических операций, связанных с регистрацией, транспортными перемещениями, различными видами сортировки и конечной доставки, обеспечивая логистическую синхронизацию процессов доставки, что формирует теоретический базис экспресс-доставки [6].

Научные исследования по этой тематике проводятся как в России, так и за рубежом, рынок экспресс-доставки рассматриваются как важная часть рынка транспортно-логистических услуг. Нами выполнен анализ

количества публикаций по теме Express Delivery относящихся к логистике за последние 8 лет, размещенных в базах данных Scopus и Web of Science. Отмечается явный тренд роста интереса к данной теме, количество публикаций с 2013 по 2021 годы увеличилось более чем в пять раз, аналогичный тренд показывает и количество цитирований (Рис. 1).



Рис. 1. Изменение количества публикаций и цитирований по теме экспресс-доставки в публикационных базах данных

Изучение конкретных публикаций показывает, что интерес к рынку экспресс-доставки имеют европейские ученые, особенно в проблемах, которые обусловлены развитием трансграничной электронной торговли на рынках Европейского союза [7].

Много исследований по теме экспресс-доставки за последние пять лет выполнено в Китае. Авторы исследуют различные аспекты организации экспресс-доставки от формирования цепочки создания ценности [8], до оценки экологического ущерба от экспресс-доставки и способов его минимизации [9]. В Китае рынок экспресс-доставки очень сильно развит, и он может быть целевым ориентиром для России. Сравнительное исследование данных рынков представлено в [1]. Авторы разработали большой опросник для сравнения качества логистического сервиса в сфере экспресс-доставки для двух стран. В опросник вошли более двадцати вопросов, которые разделены на группы (инфраструктура, надежность, скорость реакции, безопасность, защита клиента). Результаты опроса показывают, что Россия в настоящее время отстает по всем показателям, наибольшее расхождение в надежности поставок, доставке от двери к двери, повреждениях груза в процессе доставки. Это исследование показывает возможные направления улучшения сервиса экспресс-доставки для России на ближайшую перспективу.

Большой обзор современных подходов к экспресс-доставке в России представлен в исследовании [4]. Авторы изучили текущее состояние рынка экспресс-доставки, проанализировали условия доставки, для более, чем двухсот магазинов разного размера, которые относятся к различным товарным сегментам. В качестве инструмента авторы использовали опросы пользователей, интервью с экспертами, анализ статистической информации. Результаты исследования описывают состояние рынка экспресс-доставки, показывают существующие тренды его развития. Опрос покупателей позволил авторам представить ожидания конечных потребителей по услуге экспресс-доставки. Рассмотрим ключевые выводы, которые представили авторы этого исследования. Данная информация позволяет понять современное видение услуги по экспресс-доставке и описывает подход к ее классификации. По оценкам исследователей, экспресс-доставка в России реализуется в четырех основных видах:

- мгновенная доставка, когда товар поступает к покупателю меньше, чем за один час, услуга предлагается 6 % исследованных магазинов;
- срочная доставка, когда товар доставляется в течение 1–4 часов, такой вид реализуется в 14 % магазинов;
- доставка в тот же день, она предлагается в 15 % магазинов;
- доставка на следующий день предлагается в 14 % магазинов.

Другие российские авторы в своих публикациях рассматривают узкие темы организации экспресс-доставки, например:

- влияние пандемии [10];
- отраслевые характеристики рынка [11];
- общие тенденции и перспективы его развития [12].

В 2022 году появилась монография, в которой авторы подробно исследуют рынок услуг экспресс-доставки в России и в мире, анализируют сложившиеся на нем до 2021 года тенденции, также выделяют проблемы и перспективы развития этого рынка. Данное исследование может быть рекомендовано для изучения и формирования общего понимания о рынке экспресс-доставки [13].

Обобщая выполненный литературный обзор, укажем, что тема является в настоящий момент актуальной, ключевой особенностью экспресс-доставки является необходимость обеспечить высокую скорость и надежность доставки компактных грузов или документов клиентам. Превышение срока доставки приводит к резкому снижению ценности такой услуги. В процессе доставки перевозчик несет всю ответственность за целостность груза с того момента, когда груз поступил его распоряжение и до момента передачи его клиенту. Заявка на такую перевозку заполняется через специализированный сайт или мобильное приложение.

Ключевыми драйверами развития рынка экспресс-доставки являются: широкое распространение торговли через интернет, активизация работы сервисов с частными объявлениями о товарах (Авито, Юла), открытие новых магазинов с товарами немассового спроса, которые требуют использования услуг по экспресс-доставке.

Трендом в России является расширение рынка экспресс-доставки. В недавнем прошлом она существовала только в городах с населением свыше одного миллиона человек в центральной и западной России. Сейчас отмечается рост конкуренции среди компаний, которые пытаются войти на этот рынок, открыть свои филиалы в различных городах и расширить зону экспресс-доставки товаров [14].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспресс-доставка документов и компактных грузов в другой город, несмотря на широкое использование цифровых технологий для обмена информацией, является востребованной услугой.

Требования по повышению эффективности и скорости работы при заказе этих услуг обосновывают актуальность исследования интерфейсов сайтов у компаний, предоставляющих пользователям услуги экспресс-доставки.

Скорость и удобство оформления заявки на доставку во многом зависит от используемого интерфейсного решения и от понимания особенностей пользовательского поведения в процессе оформления заявки. Существует объективная потребность, как в тестировании, так и в оценке удобства интерфейса. Это позволит сравнить качество предоставляемых услуг разными компаниями.

Цель исследования заключается в тестировании сайтов компаний экспресс-доставки на предмет удобства и скорости работы. Качественный анализ проводился с учетом следующих параметров: соответствия предлагаемой услуги потребностям пользователей, соразмерности ожиданий пользователя и полученного результата, наличие проблемных точек при оформлении заказа.

Были сформулированы следующие задачи исследования:

- выяснить ожидания пользователей от услуги по экспресс-доставке;
- найти проблемы в пользовательских сценариях сайтов исследованных компаний;
- выделить причины, побуждающие к оформлению заказа в конкретной службе, либо отталкивающие от такого решения;
- определить проблемные точки при взаимодействии с интерфейсом сайта в ходе заказа услуги экспресс-доставки;
- провести количественную оценку продуктивности работы с интерфейсом, определив среднее время оформления заявки;

- оценить успешность и скорость выполнения заказа;
- оценить субъективную удовлетворенность, доверие к информации и удобство от работы с сайтом по методике SUPR-Q.

Для описания пользовательского опыта нами использовались методы построения карт пользовательского пути [15]. На первом этапе в ходе такого исследования собираются данные о пользовательском опыте, их ожиданиях, потребностях, болевых точках, целях и предпочтениях. Затем методом модулируемого тестирования собирается информация, позволяющая выявить особенности пользовательского поведения в процессе оформления заявки.

Для тестирования интерфейсов сервисов экспресс-доставки мы привлекали пользователей, ранее не работавших с данными компаниями, либо работавшими более года назад. Также условия выборки были направлены на исследование различных групп клиентов, кто непосредственно занимается экспресс-отправкой документов, от предпринимателей и руководителей проектов до секретарей и делопроизводителей.

При выборе компаний для проведения модулируемого тестирования мы ориентировались на следующие ограничения:

- компания должна предоставлять возможность отправки посылки между городами России. В результате пришлось исключить сервисы экспресс-доставки Dostavista и Яндекс.Go, так как они работали только внутри отдельного города;
- компания присутствует в топе выдачи в глобальных поисковых системах, это проверяли через поисковую систему Google, например, в топе выдачи не оказалось компании «Деловые линии», поэтому компанию исключили из исследования;
- компания использует стандартный способ формирования заказа на доставку и отправку. Курьерская служба «Почты России» имеет свой специфичный метод оформления, что не позволяет корректно сравнить ее с остальными компаниями, а сервис «Сбер.Логистика» требует входа через СберID. Эти компании также были исключены из исследования.

Таким образом, для проведения тестирования интерфейсов были отобраны компании: СДЭК, DPD group и Pony Express. Для пользователей была сформулирована следующая типовая задача: выполнить отправку документов службой экспресс-доставки из Екатеринбурга в Москву, конкретное местоположение отправителя и получателя документов в рамках города значения не имеет, заказ необходимо сделать максимально быстро.

Для исследования использовалась методология удаленного модулируемого тестирования, с активным использованием метода Think Aloud [16]. При проведении такого тестирования респондент выполняет

задачу, перемещаясь по пользовательскому сценарию и проговаривая вслух свои мысли и эмоции, возникающие у него при взаимодействии с интерфейсом сайта. Этот метод сопряжен с некоторыми рисками и проблемами при его использовании: респондентам зачастую сложно озвучивать свои действия, их приходится мотивировать к этому. Имеет место и некоторая неестественность проговаривания мыслей вслух, также в процессе тестирования у пользователей возникает желание казаться более вдумчивыми и рациональными, что приводит к внутренней модерации комментариев с их стороны и искажает результаты исследования.

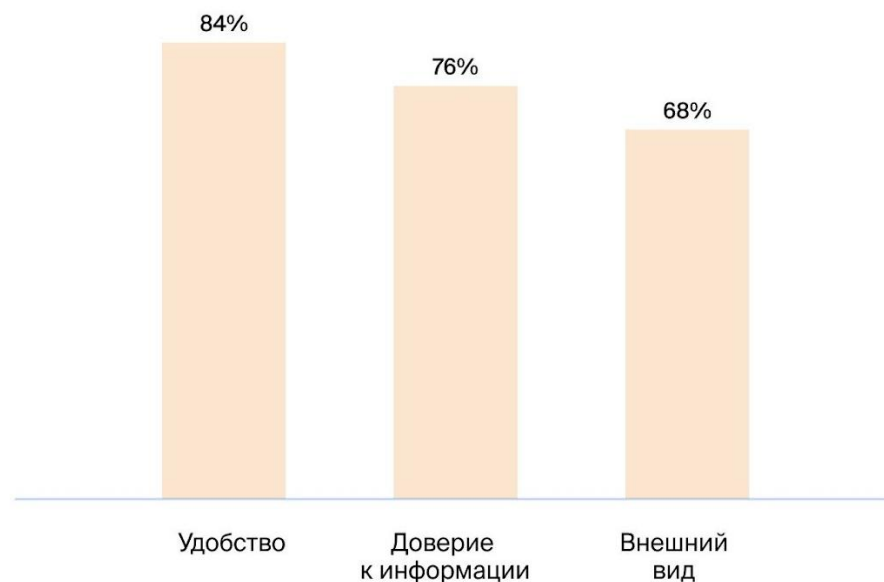
С другой стороны, данный метод имеет ряд привлекательных для качественных исследований преимуществ: низкую стоимость, простоту в освоении и обучении, надежность, гибкость, убедительность и обоснованность результата. Информация о недостатках интерфейсных решений поступает напрямую от лица, максимально заинтересованного в выполнении предложенной ему задачи. В отличие от других подходов, такое исследование позволяет не только выявить проблемы в удобстве использования сайта, но и понять глубинные причины различных моделей поведения пользователей.

Удаленное модерируемое тестирование пользовательского опыта проводилось исследователем совместно с пользователем. Участник тестирования и исследователь взаимодействовали виртуально с помощью приложений для видеоконференцсвязи. Респондент выполнял предложенную ему задачу, а исследователь выступал в роли модератора и внимательно следил за ходом выполнения задачи и при необходимости напоминал участнику тестирования о необходимости проговаривания своих действий, но не подсказывал ему, что и как делать. На основе этого исследования были построены карты пользовательского пути.

Для максимизации полезности полученного в ходе тестирования результата мы добавили опрос субъективной удовлетворенности пользователя сайтом для выполнения заказа на основе анкеты SUPR-Q, которую адаптировали под наше исследование. Анкета SUPR-Q (Standardized User Experience Percentile Rank Questionnaire) используется для измерения качества пользовательского опыта на сайтах компаний [17].

С ее помощью можно оценить: удобство, доверие, лояльность и привлекательность внешнего вида сайта. Пользователи ставят оценку от 1 до 5 по каждому элементу сайта, затем баллы усредняются и переводятся в стандартизованную шкалу от 0 до 100. Пример использования этого опросника приведен на Рис. 2.

На основе стандартизированного опросника SUPR-Q мы оценили субъективное отношение пользователей к сайту в рамках задачи – оформление доставки документов курьером.



*Мы исключили параметр NPS (вероятность рекомендации сайта пользователями), т.к. мы не оценивали услугу целиком, а рассматривали только оформление заявки на сайте. Этого опыта недостаточно, чтобы пользователи могли дать достоверную оценку того, станут ли они рекомендовать сайт своим знакомым.

Пользователи отвечали на вопросы, используя 5-балльную шкалу Лайкерта (где 1 = категорически не согласен и 5 = полностью согласен).

- 1 Сайт легко пользоваться (удобство)
- 2 По сайту легко перемещаться (удобство)
- 3 Информация на этом сайте заслуживает доверия (доверие)
- 4 Мне комфортно заказывать услуги на этом сайте (доверие)
- 5 Сайт кажется мне привлекательным (внешний вид)
- 6 Информация на сайте размещена понятно и удобно (внешний вид)

**Данные замерялись в рамках выполнения юзабилити-теста.

Рис. 2. Критерии оценки по анкете SUPR-Q

После выбора методологии тестирования и подготовки анкет нами был составлен гайд по тестированию, собран пул респондентов (по пять респондентов на каждую из тестируемых компаний), составлен график индивидуальных встреч. На первом этапе сессии исследования осуществлялось знакомство с пользователями, где исследователи-модераторы проводили скрининг и задавали участникам тестирования вопросы об их профессии, цифровых привычках, опыте работы с компаниями по экспресс-доставке. Дополнительный скрининг позволял убедиться, что при подборе респондентов не было совершено ошибок. Затем участникам подробно рассказывали, интерфейс какой компании им будет предложен для тестирования, также выясняли их опыт работы с подобными сайтами.

По условиям проведения исследования пользователь должен был выполнить поставленную перед ним задачу до конца, то есть дойти до шага оплаты заказа, без ввода данных для подтверждения заказа. Ситуации, в которых пользователь не смог разобраться в предлагаемом сценарии и уходил с сайта не выполнив задачу, возникали и учитывались.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По итогам тестирования для каждой компании была составлена обобщенная карта пути пользователя, которая отражает точки взаимодействия пользователя с интерфейсом, его мотивацию, эмоции, барьеры и драйверы на каждом этапе выполнения заданий.

При составлении карты пользовательского опыта включали как негативные, так и позитивные комментарии с точки зрения пользователя, особенно если они влияли на оценку и общие впечатления от выполнения задания. В Табл. представлены типовые проблемы выбранные нами из карты пути пользователя, которые возникали в ходе тестирования и повторялись у большей части участников.

Обобщая результаты исследования, укажем, что проблема с расчетом веса документов, так или иначе встречалась во всех компаниях. Пользователи часто находились в растерянности на главных страницах исследуемых сайтов, слабо понимая логику их организации. Сложнее всего пришлось пользователям, выполнявшим задания на сайтах компаний СДЭК и Pony Express. С нехваткой информации о тарифах и сложностями с ее получением столкнулись пользователи всех исследованных компаний.

На неудобную форму ввода данных чаще всего жаловались на сайте компании Pony Express. С техническими проблемами на сайте столкнулись пользователи СДЭК и DPD. Отсутствие возможности автоматического определения индекса негативно оценивалось участниками тестирования.

Таблица. Типовые проблемы, выявленные в ходе исследования

Наименование проблемы	Присутствие (отсутствие) проблемы у конкретной компании		
	СДЭК	DPD	Pony Express
Ошибки при расчете веса документов	+	+	+
Сложный интерфейс главной страницы	+	-	+
Недостаток информации о тарифах и сложность ее получения	+	+	+
Отсутствие информации о сроках доставки	-	+	+
Неудобная форму ввода данных	-	-	+
Технические проблемы в ходе заполнения заявки	+	+	-
Сложности указания индекса и невозможность его автоматического определения	+	+	+

На Рис. 3 показана агрегированная статистика успешности выполнения заданий и среднего затраченного времени по всем компаниям.

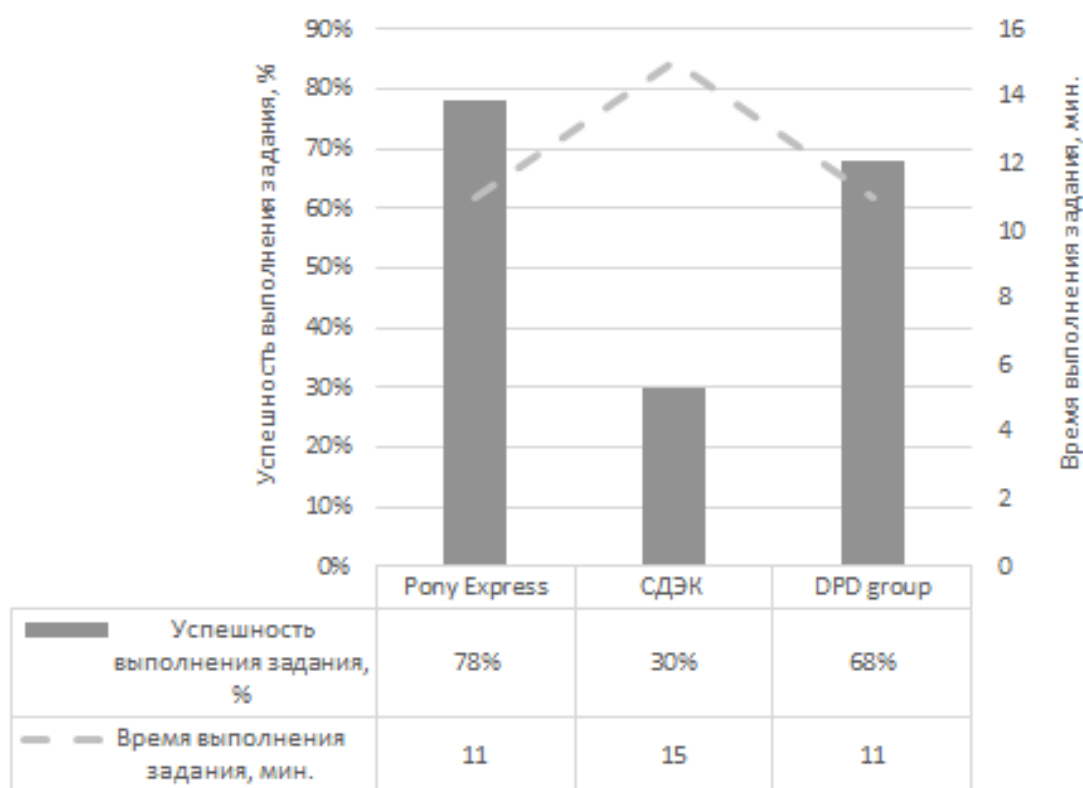


Рис. 3. Результаты исследования успешности и времени выполнения задания по компаниям

Если респонденты не смогли дойти до финального состояния полностью оформленного и оплаченного заказа, то в рамках исследования считалось, что задание ими не выполнено. По этому показателю худшие результаты показала компания СДЭК, удалось завершить только 30 % заказов. Остальные компании показали результаты выше 60 %.

В процессе исследования мы также измеряли время, затраченное на выполнение задания. Результаты измерения этого показателя также представлены на Рис. 3. По условиям исследования пользователи должны были стремиться выполнить задание как можно быстрее. По этой метрике опять худший результат показала компания СДЭК, на выполнение задания на этом сайте пользователям потребовалось в среднем 15 минут, тогда как на сайтах других компаний пользователи справлялись с заданием примерно за 10 минут.

На Рис. 4 изображена статистика с результатами анкетирования SUPR-Q.

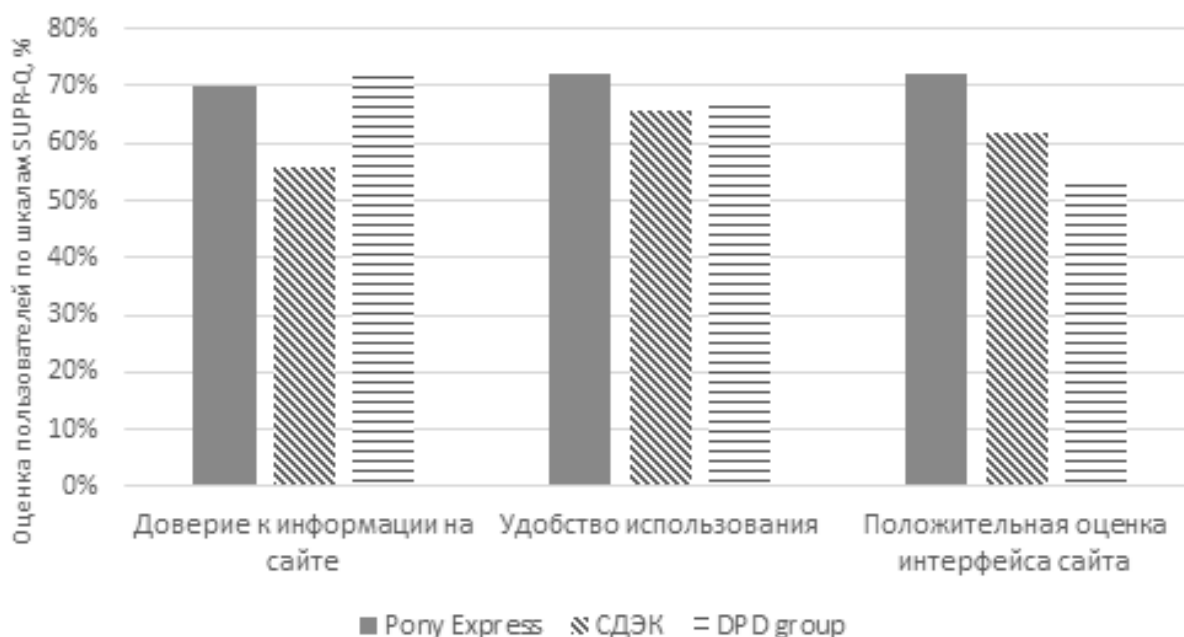


Рис. 4. Результаты тестирования SUPR-Q по компаниям

Интересно отметить, что субъективная оценка сайта СДЭК по параметрам удобства и доверия к информации коррелирует с данными по успешности выполнения задания и времени его выполнения. Наилучшие результаты по исследованным параметрам SUPR-Q у компании Pony Express, по всем трем показателям она набирает выше 70 %. Наихудшие показатели (ниже 60 %) у компании СДЭК по показателю «доверие к информации на сайте», а у компании DPD Group по показателю «оценка интерфейса сайта».

ВЫВОДЫ

Содержание понятия «экспресс-доставка» существенно изменилось за последние несколько лет. Возникли новые рынки, появились инновационные логистические технологии, которые позволяют обеспечить высокую скорость и надежность экспресс-доставки. На этом рынке существенно выросла конкуренция, компании стремятся различными способами продвигать свои услуги и обеспечивать лояльность аудитории. Литературный обзор показал, что за последние несколько лет выросло количество публикаций по данной теме, авторами исследуются широкий спектр вопросов связанных с организацией экспресс-доставки.

Процесс оформления заказов обычно осуществляется через интернет-сайт или мобильное приложение поставщика услуги по экспресс-доставке. Особенности интерфейсных решений могут довольно сильно влиять на удобство получения услуги, что обуславливает актуальность нашего исследования. Для исследования нами использовалась методика удаленного модулируемого тестирования и методика изучения субъективной удовлетворенности пользователя на основе анкеты SUPR-Q.

В результате исследования нам удалось выявить ряд закономерностей пользовательского опыта, которые проявляются в процессе оформления заказа по экспресс-доставке на сайтах компаний. Был выполнен углубленный анализ пользовательского опыта, построены карты пути пользователя, выявлены барьеры, осложняющие процесс заказа, установлены факторы, формирующие поведение пользователя в процессе заказа, получены оценки пользовательского опыта по шкалам SUPR-Q.

Полученные результаты позволят компаниям, специализирующимся на экспресс-доставке, избегать ошибок в пользовательских сценариях при разработке интерфейсов для оформления заказа. Результаты юзабилити-тестирования и выявление типовых проблем интерфейсных решений, помогут компаниям сделать свой сайт проще и удобнее, что приведет к повышению уровня удовлетворенности клиентов и общему повышению качества услуг по экспресс-доставке.

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. Kuznetsova A, Mu D. Comparison of the Quality of Services in Express Delivery Industries in China and Russia. Proceedings of the 2021 5th International Conference

- on E-Business and Internet (ICEBI '21). 2021 October; New York, NY, USA: ACM; 2021. pp. 108-114. doi: 10.1145/3497701.3497718
2. Глаз Ю.А. Бережная О.В., Марцева Т.Г. Исследование влияния организации и технологии экспресс-доставки товаров на развитие современной Интернет-торговли // Экономические системы. – 2021. – Т. 14. – № 2. – С. 75–83. [Glaz YuA, Berezhnaya OV, Martseva TG. Study of the impact of the organization and technology of express delivery of goods on the development of modern online commerce. *Economic Systems*. 2021;14(2):75-83. (In Russ.)] Ссылка активна на: 10.03.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46183853>
 3. Клитина Н.А. Сервисы экспресс-доставки и проблемные аспекты сквозной организации логистики в онлайн-ритейле // Вестник Ростовского государственного экономического университета. – 2016. – № 3(55). – С. 53–59. [Klitina NA. Service express-delivery and problem aspects of logistics through online-retail. *Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH)*. 2016;(3):53-9]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29308346> Ссылка активна на 10.03.2023.
 4. Рынок срочной доставки 2021 – маркетинговое исследование от агентства Data Insight. Доступно по: <https://datainsight.ru/rynok-srochnoy-dostavki>. Ссылка активна на 10.03.2023. [Rynok srochnoj dostavki 2021 - marketingovoe issledovanie ot agentstva Data Insight.] [Internet]. [cited 2023 March 10]. Available from: <https://datainsight.ru/rynok-srochnoy-dostavki>. (In Russ.)].
 5. Шаркова Н.Н., Савченко-Бельский В.Ю. Актуальные проблемы экспресс-доставки грузов // Транспортное дело России. – 2014. – № 6. – С. 86-87. [Sharkova NN, Savchenko-Belsky VYu. Current problems of cargo expedited delivery. *Transport business in Russia*. 2014;(6):86-7. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23067870> Ссылка активна на: 10.03.2023.
 6. Трегубов В.Н. Логистические концепции как методологическая основа синхронизации в логистических системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 66. – С. 181–193. [Tregubov VN. Logistics concept as a methodological basis of synchronization in logistics systems. 2011;(66):181-93. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15596173> Ссылка активна на: 10.03.2023.
 7. Kim TY, Dekker R, Heij C. Cross-Border Electronic Commerce: Distance Effects and Express Delivery in European Union Markets. *International Journal of Electronic Commerce*. 2017;21:184-218. doi: 10.1080/10864415.2016.1234283
 8. Farooq Q, Fu P, Hao Y, et al. A Review of Management and Importance of E-Commerce Implementation in Service Delivery of Private Express Enterprises of China. *Sage Open*. 2019;9(1). doi:10.1177/2158244018824194
 9. Duan H, Song G, Qu S, et al. Post-consumer packaging waste from express delivery in China. *Resour Conserv Recycl*. 2019;144:137-43. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.01.037
 10. Плещенко В.И. Пандемия коронавируса как катализатор развития рынка курьерской доставки // Логистика сегодня. – 2021. – № 3. – С. 194–199. [Pleshchenko VI. Pandemija koronavirusa kak katalizator razvitija rynka kur'erskoj dostavki. *Logistics Today*. 2021;(3):194-199. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 10.03.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46538676>
 11. Щербakov В.В., Букринская Э.М., Гвилия Н.А. и др. Логистика и управление цепями поставок: учебник. – М.: ООО «Издательство ЮРАЙТ», 2015. – 582 с. [ShchHerbakov VV, Bukrinskaya EM, Gviliya NA, et al. *Logistika i upravlenie cepyami*

- postavok: uchebnik*. Moscow: YURAIT; 2015. (In Russ.)].
12. Комаев А.О. Развитие служб экспресс-доставки в России // Вестник транспорта. – 2017. – № 12. – С. 27–30. [Komaev AO. Razvitie sluzhb ekspress-dostavki v Rossii. *Vestnik transporta*. 2017;(12):27-30. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 10.03.2023. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30684687>
 13. Кудряшова И.В., Митрофанова И.В., Плешакова М.В. и др. Тенденции и перспективы развития рынка экспресс-доставок в России. – М.: Директ-Медиа, 2022. – 76 с. [Kudryashova IV, Mitrofanova IV, Pleshakova MV et al. *Tendencii i perspektivy razvitiya rynka ekspress-dostavok v Rossii*. Moscow : Direkt-Media, 2022. 76 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 13.04.2023. Доступно по: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=688983>
 14. Ковалева Н.А., Муленко О.В., Верескун В.Д., Долгий И.Д. Транспортно-логистические технологии в почтовых системах экспресс-доставки // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 3(87). – С. 232–252. [Kovaleva NA, Mulenko OV, Vereskun VD, Dolgij ID. Transport and logistics technologies in postal express delivery systems. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2022;3(87):232-252. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48413161> Ссылка активна на: 10.03.2023.
 15. Patti CH, van Dessel MM, Hartley SW. Reimagining customer service through journey mapping and measurement. *European Journal of Marketing*. 2020;54 (10):2387-2417. doi: 10.1108/EJM-07-2019-0556
 16. McDonald S, Edwards HM, Zhao T. Exploring Think-Alouds in Usability Testing: An International Survey. *IEEE Transactions on Professional Communication*. 2012;55(1):2-19. doi: 10.1109/TPC.2011.2182569
 17. Apraiz Iriarte A, Iasa Erle G. Questionnaires for the evaluation of User Experience and Usability in industrial environments: A Bibliographic Review. *Dyna new technologies*. 2020;7:[21 p.]. doi: 10.6036/NT9845
 18. Pratama MAT, Cahyadi AT. Effect of User Interface and User Experience on Application Sales. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2020;879:012133. doi: 10.1088/1757-899X/879/1/012133

Сведения об авторах:

Трегубов Владимир Николаевич, доктор экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 5528-8060; ORCID: 0000-0002-7793-3605;
E-mail: tregubovvn@outlook.com

Сайфутдинова Полина Айваровна, UX-аналитик;
ORCID: 0009-0000-3571-4802;
E-mail: p.saifutdinova@yandex.ru

Рощупкин Всеволод Андреевич, старший UX-аналитик;
ORCID: 0009-0002-5984-5262;
E-mail: vsevolodros@gmail.com

Information about the authors:

Vladimir N. Tregubov, doctor of Economics, associate Professor;
eLibrary SPIN: 5528-8060; ORCID: 0000-0002-7793-3605;

E-mail: tregubovvn@outlook.com

Polina A. Saifutdinova, UX Analyst;

ORCID: 0009-0000-3571-4802;

E-mail: p.saifutdinova@yandex.ru

Vlevolod A. Roshchupkin, senior UX Analyst;

ORCID: 0009-0002-5984-5262;

E-mail: vsevolodros@gmail.com

Цитировать:

Трегубов В.Н., Сайфутдинова П.А., Рошупкин В.А. Исследование пользовательского опыта для Интернет-ресурсов компаний экспресс-доставки // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 59–74. doi: 10.17816/transsyst20239359-74

To cite this article:

Tregubov VN, Saifutdinova PA, Roshchupkin VA. Research of user experience for express delivery companies site's. *Transportation Systems and Technology*. 2023;9(3):59-74. doi: 10.17816/transsyst20239359-74

Рубрика 3. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Направление – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

DOI 10.17816/transsyst20239375-94

© И. Ключспис¹, Р. Кирхер¹, М. Витт¹, С. Хенель¹, Л. Блоу²

¹Международный совет по магнитной левитации

(Мюнхен, Германия)

²MaglevTransport, Inc.

(Вашингтон, Соединенные Штаты Америки)

СРЕДНЕСКОРОСТНЫЕ МАГЛЕВ-СИСТЕМЫ: ПОДХОДЯЩИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Среднескоростные транспортные системы маглев считаются прорывной инновацией. Это усложняет потенциальный доступ на транспортный рынок, на котором доминируют обычные, традиционные транспортные системы. Могут ли системы маглев конкурировать с ними?

Цель: Этот опрос, предназначенный специально для специалистов в области транспорта, анализирует текущее (2023 г.) восприятие систем маглев для пассажирских и грузовых перевозок. Подходят ли среднескоростные системы маглев для будущего транспорта с точки зрения экспертов транспорта?

Методы: Международный веб-опрос пятисот специалистов в транспортном секторе. Основное внимание уделяется применению и пригодности. Это не техническое сравнение систем.

Результаты: Среднескоростные маглев-системы считаются конкурентоспособными, а в некоторых случаях и превосходящими существующие транспортные системы в том же диапазоне скоростей. Однако большинство международных экспертов считают, что системы маглев пригодны в основном для специфических областей применения, таких как пассажирские перевозки между аэропортами и центрами городов, или в качестве грузовой транспортной системы для решения специальных логистических задач.

Заключение: С экспертной точки зрения, инновационное внедрение маглев-систем в четко определенных областях применения кажется разумной и перспективной.

Ключевые слова: маглев, инновация, прорывные технологии, пригодность, сравнение, массовые перевозки, груз, исследование.

Rubric 3. TRANSPORT SYSTEMS

Field – Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport

© Joh. Kluehspies¹, R. Kircher¹, M. Witt¹, S. Haenel¹, L. Blow²

¹The International Maglev Board

(Munich, Germany)

²MaglevTransport, Inc.

(Washington, United States of America)

ON THE SUITABILITY OF MEDIUM SPEED MAGLEV TRANSPORT SYSTEMS: AN ANALYSIS OF PERCEPTIONS IN THE TRANSPORTATION SECTOR

Medium speed maglev transport systems are considered a disruptive innovation. This complicates potential access to the transport market, which is dominated by conventional, traditional transport systems. Can maglev systems compete with them?

Aim: Aimed specifically at transport professionals, the survey analyses current [2023] perceptions of maglev systems for passenger and freight transport. Are medium speed maglev systems suitable for the future of transport from the perspective of transport experts?

Methods: International web survey of five hundred professionals in the transport sector. The focus is on application and suitability. It is not a technical comparison of systems.

Results: Medium-speed maglev systems are considered to be competitive, and in some cases superior, to established transport systems in the same speed range. However, most international experts see the suitability of maglev systems primarily for specific applications, such as passenger transport between airports and city centers, or as a freight transport system for special logistics tasks.

Conclusion: An innovation of maglev systems in well-defined applications seems reasonable and promising from an expert's point of view.

Key words: *maglev, innovation, disruption, suitability, comparison, mass transit, cargo, survey.*

I. ВВЕДЕНИЕ

Низко- или среднескоростные системы на магнитной тяге – это технически продвинутые транспортные системы, использующие технологию магнитной левитации для подъема, тяги и направления поездов или транспортных средств по направляющим без физического контакта с колесами. Среднескоростные системы маглев могут быть построены как наземные или подземные либо путем модернизации существующей инфраструктуры, либо путем строительства новых линий. Несколько стран исследовали и разработали технологию маглев, а некоторые города уже внедрили системы маглев в небольших масштабах [1]. Однако, несмотря на то, что системы маглев уже используются в различных транспортных проектах, включая некоторые городские, их широкое применение в городах и регионах все еще ограничено.

В настоящее время (2023) шесть стран считаются мировыми лидерами в области инноваций среднескоростного маглева:

- Бразилия (Система Кобра);
- Германия (Система TSB компании Max Bögl);
- КНР (Системы в нескольких городах);
- Россия (несколько систем находятся в стадии разработки);
- Южная Корея (Система городского маглев – Rotem Ecobee Urban Maglev System);
- Япония (Система Linimo, Нагоя).

Системами, имеющими наибольший опыт эксплуатации (по состоянию на 2023 год), являются японская система Linimo в Нагое и южнокорейская Rotem Esobee в аэропорту Инчхон в Южной Корее [2]. Однако с учетом масштабных инвестиций КНР в технологии маглев [3] и включения их в качестве национальных флагманских проектов в пятилетние планы развития страны, ситуация с исследованиями меняется и, вероятно, будет все больше определяться потребностями Китая.

В Бразилии исследования среднескоростного маглев ведутся на университетском уровне уже несколько десятилетий [4, 5]. В Российской Федерации ученые занимаются разработкой маглев-систем на университетском уровне уже несколько десятилетий. В настоящее время обсуждаются системы, основанные на линейных двигателях и технологии магнитной левитации, поскольку потенциально они могут обеспечить более высокое качество перевозок при более низких эксплуатационных расходах, чем традиционные колесно-рельсовые системы [6, 7]. Московский монорельс представляет собой испытательный участок пути для использования новой технологии [8, 9] в повседневной эксплуатации. В последнее время в российской прессе [2023] в общих чертах упоминается несколько текущих проектов по использованию маглев для пассажирских и промышленных перевозок, без указания подробностей.

В области грузовых перевозок аналогичные соображения высказываются в отношении городских маглев-систем как в России [10], так и в Украине [11]. В США за последние десятилетия также было проведено несколько промышленных исследовательских проектов [12], направленных, главным образом, на улучшение контейнерных перевозок в портах.

В целом, научная дискуссия также принципиально связана с вопросом о том, какую из различных технологий маглев следует использовать [13–16]; помимо привода на линейном двигателе, особенно важным является вопрос об использовании сверхпроводящих материалов или постоянных магнитов [17].

Внедрение среднескоростных систем маглев в существующую транспортную инфраструктуру зависит от таких факторов, как стоимость, осуществимость, государственная поддержка, общественное признание и специфические транспортные потребности города или региона, особенно в сравнении с традиционными системами общественного транспорта [18].

Можно предположить, что среднескоростные маглев-системы будут коммерчески выгодны для оператора только в том случае, если они предлагают значительные эксплуатационные преимущества по сравнению с существующими традиционными системами. Это означает, что потенциальные маглев-системы будут конкурировать с пригородными поездами, региональными поездами, метрополитенами, трамваями и автобусами.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель данного исследования – определить мнение транспортной отрасли о конкурентоспособности среднескоростных маглев-систем по сравнению с уже существующими системами общественного транспорта. Для такого сравнительного анализа наиболее подходящими транспортными системами являются пригородные поезда, региональные поезда, метро, трамваи и автобусы. Эти транспортные системы сравниваются и ранжируются по соответствующим критериям. С точки зрения эксплуатации, к ним относятся потребление энергии, выбросы твердых частиц и уровень шума. Цель опроса – выяснить мнение представителей транспортного сектора. В нем не делается попытка представить общее репрезентативное мнение населения. Вместо этого, соответствующими целевыми группами для ответа на вопрос исследования являются эксперты и люди, обладающие проверенными знаниями в области транспорта.

Поэтому основными вопросами исследования являются: "Каковы значимые области применения систем магнитной левитации по сравнению с существующими транспортными системами? В какой степени среднескоростные системы в принципе пригодны и выгодны?"

Целью данного исследования не является обсуждение различных технических концепций систем маглев. Не является целью и сравнение технических характеристик различных типов систем маглев. Цель не затрагивает тип левитационной или двигательной системы, а также использования технологии сверхпроводимости или постоянных магнитов. Напротив, в исследовании рассматриваются и оцениваются фундаментальные характеристики системы, связанные с технологиями маглев, в сравнении с существующими системами пассажирского и грузового колесно-рельсового транспорта и с автомобильными перевозками. В исследовании также уделено внимание исключительно транспортным системам для низких или средних скоростей – т.е. не на высокоскоростных системах, таких как Transrapid, Chuo Shinkansen, TGV, Сапсан, CHSR и т.д. При анализе высокоскоростного сегмента следует обратиться к другим исследованиям на эту тему [19–21, 22], поскольку необходимо учитывать иные критерии и контекст, чем те, что учитываются для городских или региональных проектов.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

В качестве методологии в данном исследовании выбран опрос через Интернет. Для того чтобы охватить целевые группы, имеющие отношение к ответу на вопрос исследования (эксперты и люди с проверенными знаниями в транспортном секторе), необходим доступ к подходящей базе

данных адресов электронной почты. Некоммерческая ассоциация «Международный совет по магнитной левитации» (IMB) предоставляет такой доступ исключительно для научных целей. Контакт был установлен через ежеквартальный информационный бюллетень IMB, который рассылается более чем тринадцати тысячам подписчиков.

Сам опрос проводился с помощью онлайн-инструмента LimeSurvey через сервер Технического университета Деггендорфа (THD). Онлайн-анкета была доступна на английском и немецком языках [23].

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Анонимный веб-опрос посетили сотни заинтересованных людей. Как и ожидалось и предполагалось, многие отказались от участия в опросе, когда с самого начала стало ясно, что это опрос, предназначенный специально для профессионалов в области транспорта. Однако, по неизвестным причинам, 364 человека пролистали весь опрос, не приняв в нем активного участия. В общей сложности 273 человека нашли время, чтобы ответить на все интересующие их вопросы.

Большинство респондентов – мужчины. Представлены все возрастные группы от 18 до 100 лет, причем наибольшее число участников приходится на возрастную группу 41–70 лет.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ЦЕЛОМ

В опросе по среднескоростным системам маглев задается вопрос о подходящих областях применения. На выбор предлагается несколько вариантов применения для местных пассажирских перевозок и грузовых перевозок. Вопрос звучал следующим образом: «Где Вы видите подходящие области применения среднескоростных маглев-систем?».

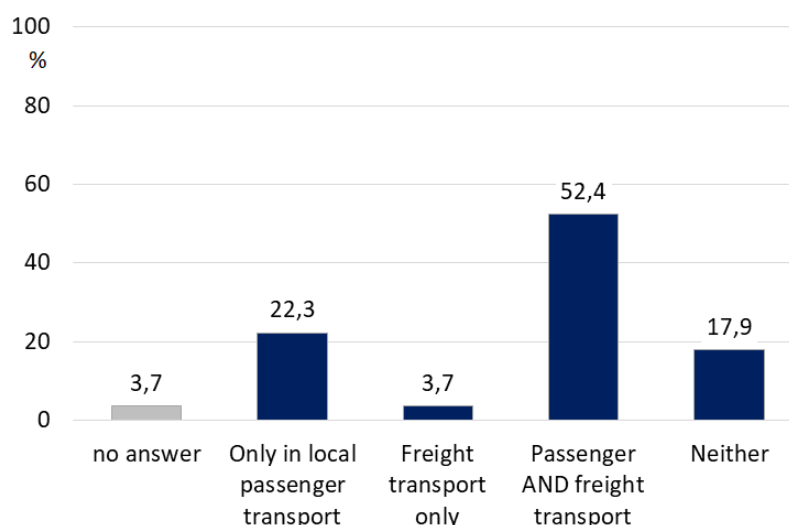


Рис. 1. Общие области применения, подходящие для среднескоростных маглев-систем (n = 273)

На этот вопрос ответили 273 респондента. Анализ показывает, что большинство респондентов (52,4 %) считают, что среднескоростные системы маглев подходят как для пассажирских, так и для грузовых перевозок. Использование исключительно для городских пассажирских перевозок выбрали 22,3 % респондентов. Непригодность – т.е. ни для пассажирских, ни для грузовых перевозок – видят 17,9 % респондентов. Всего 3,7 % не ответили на этот вопрос.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПАССАЖИРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Участников, считающих использование среднескоростных маглев-систем подходящим для общественного транспорта, затем попросили подробнее рассказать о конкретных случаях использования. Вопрос звучал следующим образом: «Для каких областей применения подходит пассажирская среднескоростная система маглев?».

Можно было дать несколько ответов, и на выбор предлагалось четыре варианта применения:

1. Трансфер между терминалами аэропорта;
2. Связь между городом и аэропортом;
3. Региональный транспорт;
4. Городской транспорт.

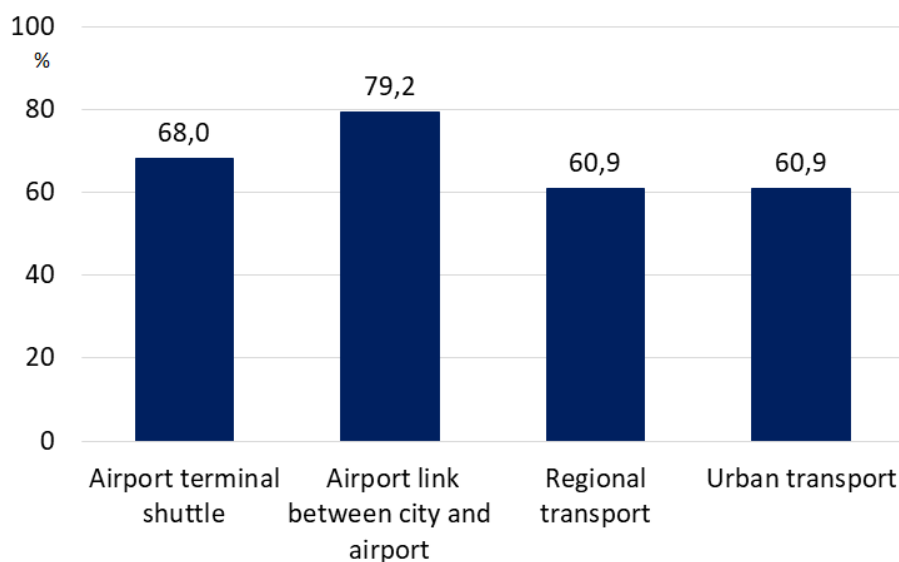


Рис. 2. Подходящие области применения в пассажирском транспорте (n = 197)

На этот вопрос ответили 197 респондентов. По мнению респондентов, наиболее важным вариантом использования среднескоростных маглев-систем является связь между городом и его аэропортом (79,2 %). Трансфер от терминала к терминалу внутри аэропорта также рассматривается 68 % из 197 респондентов. 60,9 %

участников считают, что среднескоростные системы маглев были бы полезны для региональных перевозок, и 60,9 % участников также проголосовали за применение в качестве городской транспортной системы (в пределах городов).

ПРИМЕНЕНИЕ В ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Участников попросили определить полезные области применения среднескоростного маглева в грузовых перевозках. Вопрос звучал следующим образом: «Для каких случаев грузовых перевозок подходят среднескоростные системы маглев». Было предложено четыре варианта ответа (множественный выбор):

1. Контейнерные перевозки в транспортных узлах;
2. Контейнерные перевозки между региональными логистическими центрами;
3. «Питатель» для интермодальных перевозок (погрузка на автодорогу / железнодорожный транспорт);
4. нет значимого применения.

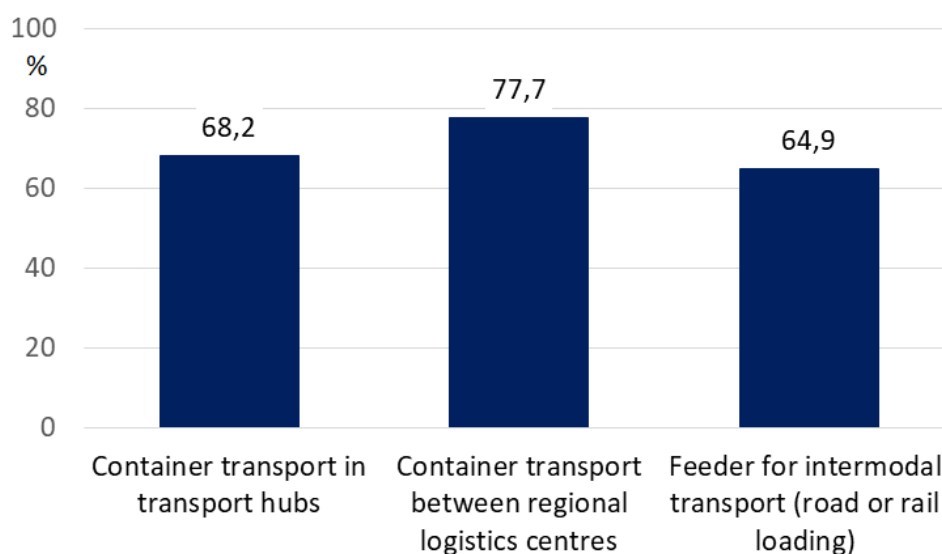


Рис. 3. Подходящие случаи перевозки грузов
(n = 148), несколько ответов

На этот вопрос ответили 148 респондентов. 68,2 % считают подходящими контейнерные перевозки в транспортных узлах. 77,7 % видят потенциал для контейнерных перевозок маглев между региональными логистическими центрами. 64,9 % видят возможность выполнения функции прямого поставщика для комбинированных перевозок (грузовых автомобилей). 2 % не ответили на вопрос.

СРАВНЕНИЕ МАГЛЕВ С ТРАДИЦИОННЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Как респонденты оценивают среднескоростные маглев-системы по сравнению с существующими традиционными транспортными системами? Для всех рассмотренных транспортных систем участников попросили проранжировать их по восьми критериям. Ранжирование переведено в систему баллов для пяти систем: за самый высокий ранг начисляется 5 баллов, за самый низкий – один балл. Ранги между ними оцениваются в четыре, три и два балла, соответственно.

Таблица 1. Критерии и стандарты оценки

Критерий	Ранг 1 для ...	Ранг 5 для ...
1. Влияние на городской облик	сильнейший	наименьший
2. Шумовые выбросы	наименьший	самый высокий
3. Плавность хода	самый высокий	наименее
4. Провозная способность	самый высокий	наименее
5. Потребность в энергии	наименее	самый высокий
6. Выбросы твердых частиц	наименее	самый высокий
7. Инвестиционные затраты	наименее	самый высокий
8. Эксплуатационные расходы	наименее	самый высокий

Баллы, выставленные респондентами, суммировались для каждой системы. Сравнимые пять транспортных систем были следующими:

- среднескоростные маглев-системы;
- метро;
- региональные поезда;
- трамваи;
- автобусы.

Оценки представлены в Табл. 1.

1. Влияние на городской облик

Цель состояла в том, чтобы собрать мнения о влиянии транспортной инфраструктуры различных систем на городской облик. Вопрос звучал следующим образом: «Как бы Вы оценили следующие виды транспорта с точки зрения общего воздействия их инфраструктуры (например, направляющих, станций, туннелей) на городской облик?». Эта инфраструктура включает, например, направляющие, станции и туннели. На этот вопрос ответили 248 участников.

Результат: по мнению участников, с точки зрения критерия воздействия на городской облик, среднескоростные системы маглев сравнимы с пригородными поездами/региональными железнодорожными системами. В то же время, по мнению участников, надземные управляемые среднескоростные системы маглев оказывают большее влияние на городской облик, чем инфраструктура автобусов, трамваев или метрополитенов.

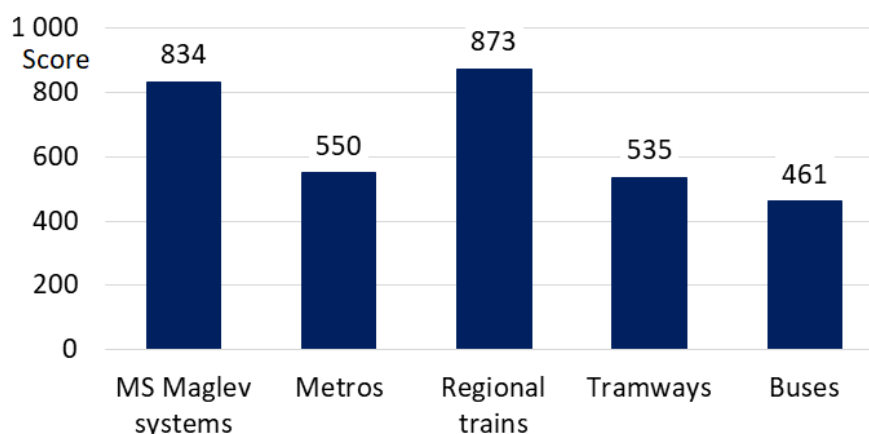


Рис. 4. Влияние на городской облик
(n = 248)

Чем выше балл, тем сильнее воздействие. Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1240 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

2. Шумовые выбросы

Работа транспортных систем создает шумовые выбросы. Эти выбросы являются одним из нежелательных негативных эффектов транспорта. Как правило, важно, чтобы выбросы были как можно ниже.

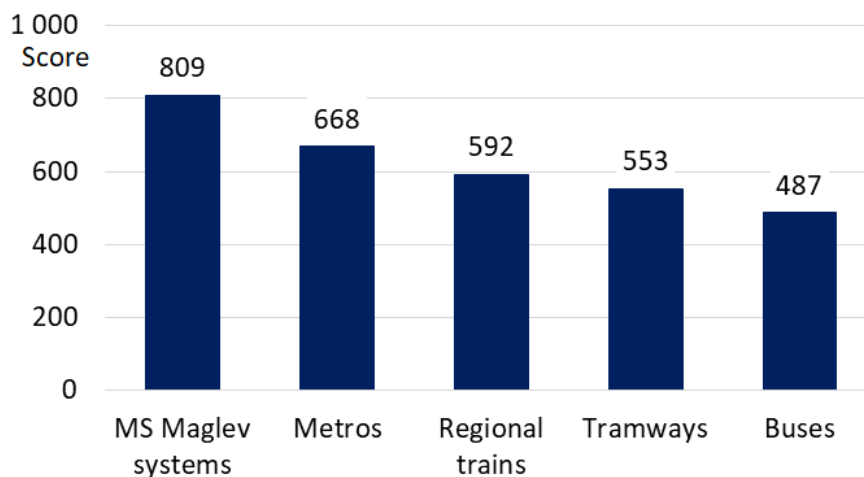


Рис. 5. Шумовые выбросы (n = 238)

Чем выше балл, тем более благоприятными (= более тихими) считаются шумовые выбросы. Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1190 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

Для сравнения систем был задан вопрос: «Как Вы оцениваете следующие транспортные системы по уровню шумовых выбросов во время работы?». Всего 238 человек ответили на вопрос о ранжировании транспортных систем по уровню шума.

Результат: по сравнению с другими транспортными системами, участники считают, что среднескоростные магнитолевитационные системы имеют явные преимущества с точки зрения уровня шума.

3. Плавность хода при эксплуатации

С точки зрения пассажира плавность хода обычно понимается как комфорт поездки с точки зрения вибрации и шума в салоне. Оба аспекта воспринимаются тем позитивнее, чем ниже их уровень. Таким образом, высокий балл указывает на высокий уровень плавности хода, т.е. низкий уровень шума в салоне и низкий уровень вибрации во время движения.

Вопрос звучал следующим образом: «Как Вы оцениваете следующие транспортные системы с точки зрения плавности хода (= вибрации и шум в салоне) во время эксплуатации?».

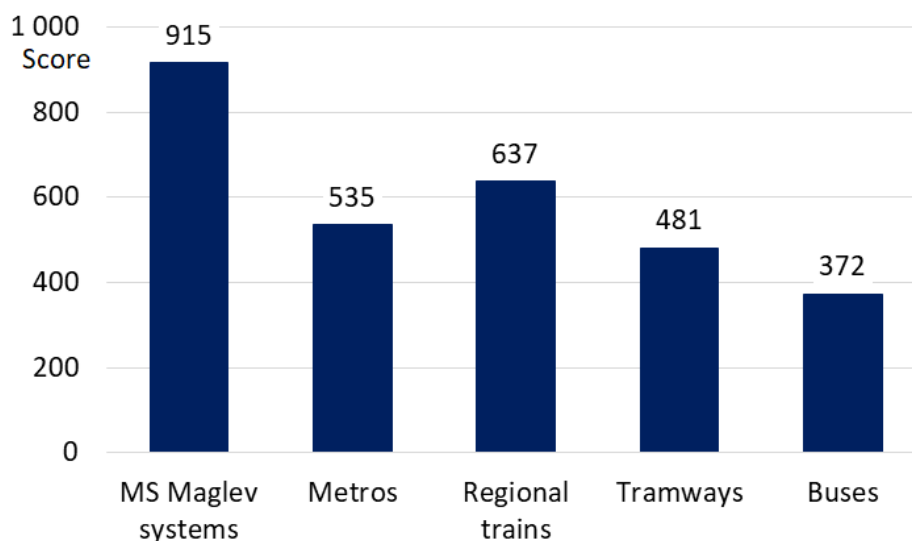


Рис. 6. Плавность хода (n = 225)

Чем выше балл, тем более благоприятней считается система (= тише и с меньшей вибрацией). Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1125 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

Результат: по сравнению с другими транспортными системами, по мнению участников, среднескоростные магнитолевитационные системы имеют явные преимущества в плане плавности хода.

4. Провозная способность

Провозная способность транспорта играет важную роль в эффективности и экономичности транспортных систем. В целом, чем выше провозная способность транспорта, тем он выгоднее.

Вопрос: «Как бы Вы оценили следующие виды транспорта с точки зрения их пассажирской провозной способности?».

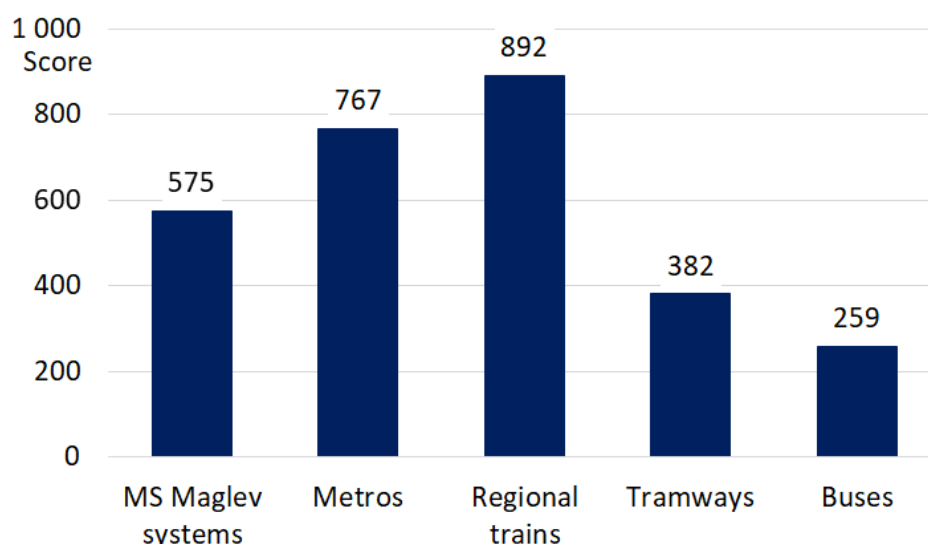


Рис. 7. Провозная способность (n = 220)

Чем выше балл, тем больше ожидаемая провозная способность. Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1100 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

Результат: по сравнению с метрополитеном и пригородными/региональными железнодорожными системами, участники не видят никаких преимуществ у среднескоростных маглев-систем с точки зрения провозной способности. Они оценили их выше, чем автобусы или трамваи, но ниже, чем устоявшиеся традиционные колесные рельсовые системы, такие как метро или региональные поезда.

5. Потребности в энергии

Потребности транспортных систем в энергии играют значительную роль в их эксплуатационной экономике. Вопрос звучал следующим образом: «Как Вы оцениваете следующие виды транспорта с точки зрения энергопотребления на одного человека в процессе эксплуатации?».

Результат: по сравнению с другими транспортными системами, среднескоростные магнитолевитационные системы имеют незначительные преимущества с точки зрения энергопотребления (потребности в энергии на человека/км в эксплуатации).

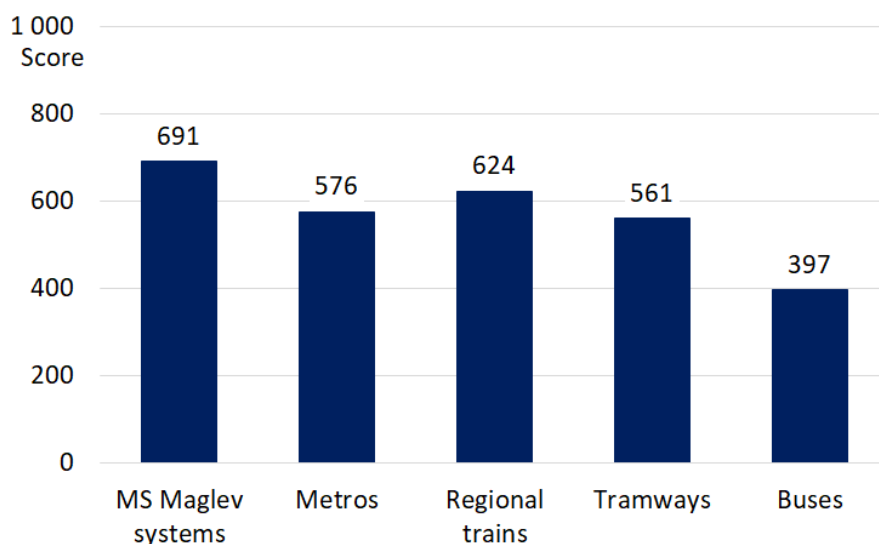


Рис. 8. Потребность в энергии (n = 218)

Чем выше балл, тем благоприятнее (т.е. ниже) ожидаемая потребность в энергии. Максимально возможное количество баллов для каждой транспортной системы = 1090 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

6. Выбросы твердых частиц

Выбросы твердых частиц играют все более важную роль при оценке воздействия транспортных систем на окружающую среду. В частности, металлические частицы или очень мелкие частицы (например, асбест) представляют риск для здоровья человека [12]. Загрязнение твердыми частицами в настоящее время считается проблемой, которая долгое время недооценивалась с точки зрения ее важности для работы транспортных систем. С точки зрения важности необходимости измерения и минимизации загрязнения твердыми частицами некоторые страны Восточной Азии в настоящее время (2023) могут считаться лидерами, например, Южная Корея (здесь особенно выделяется город Сеул с его системами метро) [12].

Ожидается, что по мере того, как научное сообщество и общественность будут все лучше понимать проблемы загрязнения окружающей среды, все большее внимание будет уделяться загрязнению твердыми частицами и его последствиям.

Вопрос касался этой проблемы следующим образом: «Как Вы оцениваете следующие транспортные системы с точки зрения выбросов твердых частиц при эксплуатации?».

Результат: по сравнению со всеми другими рассмотренными транспортными системами, среднескоростной маглев имеет значительные

преимущества с точки зрения участников в отношении критерия выброса твердых частиц.

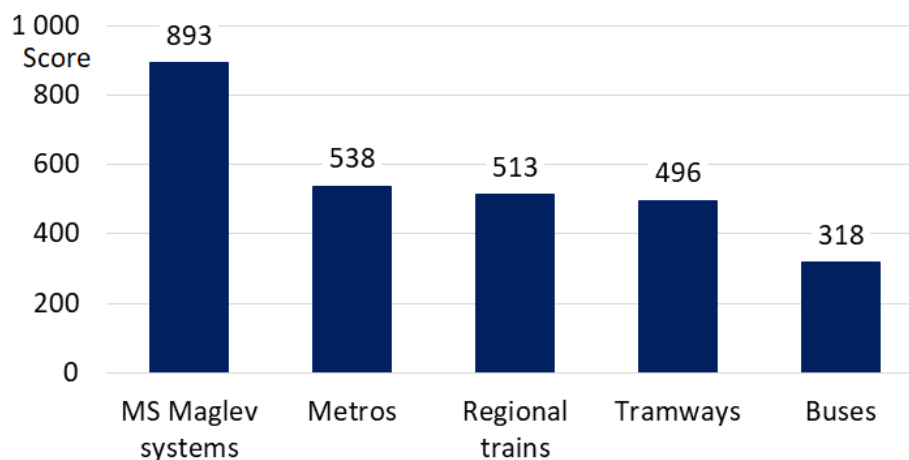


Рис. 9. Выбросы твердых частиц (n = 211)

Чем выше балл, тем благоприятнее (т.е. ожидается, что будет выброшено меньше твердых частиц). Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1055 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

7. Инвестиционные затраты

Участников спрашивали об ожидаемых инвестиционных затратах (на инфраструктуру, оборудование и транспортные средства) для рассматриваемых транспортных систем.

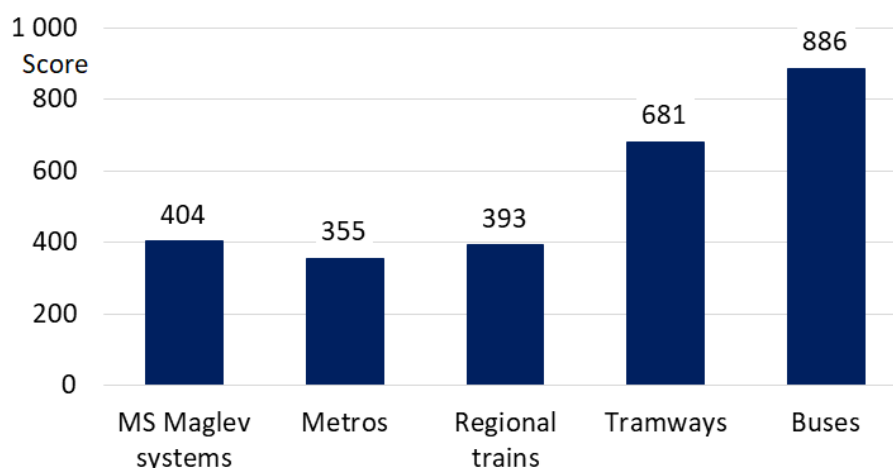


Рис. 10. Инвестиционные расходы (n = 208)

Чем выше балл, тем благоприятнее (= ниже) ожидаемые расходы. Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1040 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

Вопрос: «Как бы Вы оценили следующие транспортные системы с точки зрения инвестиций (стоимости) в их создание (инфраструктура и транспортные средства)?». Всего на этот вопрос было получено 208 оценок.

Результат: по сравнению с трамваями и автобусами участники не видят никаких преимуществ для среднескоростных маглев-систем с точки зрения инвестиционных затрат. По сравнению с региональными поездами и метрополитенами преимущества незначительны.

8. Эксплуатационные расходы

Стоимость эксплуатации транспортных систем является ключевым фактором, определяющим потенциальную экологичность и экономическую жизнеспособность транспортных систем. Во многих случаях долгосрочный экономический баланс системы общественного транспорта более важен для принятия решений об инновациях, чем краткосрочные инвестиционные затраты.

Вопрос звучал следующим образом: «Как бы Вы оценили следующие транспортные системы с точки зрения их эксплуатационных расходов?»

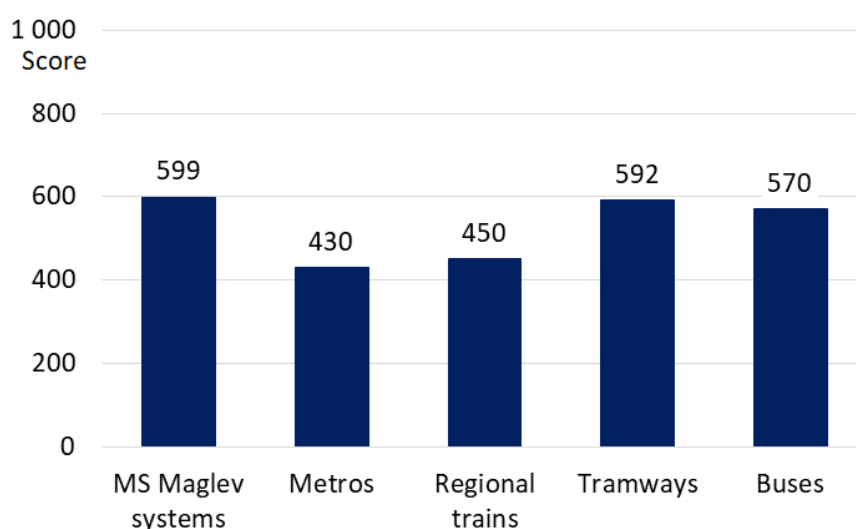


Рис. 11. Эксплуатационные затраты (n = 202)

Чем выше балл, тем выгоднее (=ниже) ожидаемые эксплуатационные затраты. Максимально возможный балл для каждой транспортной системы = 1010 (MS Maglev = Medium Speed Maglev).

Результаты: по сравнению с другими транспортными системами, участники считают, что среднескоростные маглев-системы имеют явные преимущества с точки зрения эксплуатационных затрат. Это особенно справедливо для систем метро и пригородных/региональных железных дорог.

IV. ИТОГИ

Цель исследования – определить мнение транспортной отрасли о конкурентоспособности среднескоростных магнитолевитационных систем по сравнению с уже существующими городскими транспортными системами. Соответствующими транспортными системами для сравнительного анализа являются: пригородные поезда, региональные поезда, метро, трамваи и автобусы. Опрос был адресован экспертам, работающим в области транспорта. Он проводился через Интернет и был разослан на английском и немецком языках более чем 13 000 подписчикам рассылки [23].

54 % респондентов считают, что среднескоростные магнитолевитационные системы подходят как для пассажирских, так и для грузовых (контейнерных) перевозок. 23 % считают, что они подходят только для пассажирских перевозок. 4 % считают их пригодными только для грузовых перевозок. С другой стороны, почти пятая часть всех респондентов (19 %) считает, что ни пассажирские, ни грузовые перевозки не являются целесообразным применением. Важным применением, по мнению респондентов, является применение в качестве связующего звена между городом и аэропортом (79,2 % согласны). 68 % считают подходящим использование в качестве шаттла между терминалами в аэропортах. 60,9 % респондентов считают подходящим применение в городских или региональных перевозках.

С точки зрения участников и по сравнению с другими видами городского и регионального транспорта, среднескоростные поезда маглев, как считается, имеют преимущества перед существующими системами во многих из рассмотренных аспектов.

V. СВЕДЕНИЕ ОЦЕНОК

При ранжировании и сведении всех ответов участников по степени их согласия с утверждением получается следующая общая картина без дифференциации по возрасту или стране происхождения (Табл. 2).

По мнению респондентов, среднескоростные системы маглев имеют высокий потенциал по сравнению с существующими видами транспорта, за исключением критериев инвестиционных затрат и провозной способности, для которых достигнуты лишь средние сравнительные значения.

Следует отметить, что оценки респондентов, представленные на Рис. 11, являются средними статистическими данными и не отражают порой сильно расходящихся мнений по некоторым критериям.

Таблица 2. Среднескоростные системы маглев в сравнении с обычными системами общественного транспорта

	MS Маглев	Метро	Региональ ный поезд	Трамвай	Автобус
Влияние на городской облик					
Шумовые выбросы	1	2	3	4	5
Плавность хода	1	3	2	4	5
Провозная способность	3	2	1	4	5
Потребность в энергии	1	3	2	4	5
Выбросы твердых частиц	1	2	3	4	5
Инвестиционные затраты	3	5	4	2	1
Эксплуатационные затраты	1	5	4	2	3

Результаты на основе ранжирования респондентов:

1 = лучший, 5 = худший (MS Маглев = Medium Speed Maglev)

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данного исследования было оценить потенциал применения технологии среднескоростного маглева с помощью интернет-опроса представителей транспортной отрасли. Основное внимание уделялось не высокоскоростным системам, а среднескоростным городским и региональным системам. В этих областях применения целью было сравнение систем маглев с существующими системами общественного транспорта на основе различных критериев.

Полученные результаты свидетельствуют о явных преимуществах среднескоростных маглев-систем с точки зрения экологичности и комфорта. Ожидается, что эксплуатационные расходы будут самыми низкими для систем маглев по сравнению со всеми другими рассмотренными системами. С другой стороны, по провозной способности и инвестиционным затратам системы маглев находятся лишь в середине диапазона.

В целом, респонденты считают, что среднескоростные маглев-системы будут иметь хорошие показатели по сравнению с уже существующими системами колесно-рельсового транспорта и автобусами. Многие респонденты считают их (к 2022 г.) особенно подходящими для специфических областей применения, например, в качестве связующих звеньев между аэропортами и городами и шаттлов в пассажирских

перевозках или в качестве систем транспортировки грузов (контейнеров) в специализированных логистических целях.

Поскольку в данном исследовании основное внимание уделяется оценке экспертов в области транспорта, представляется необходимым для последующей общей оценки систем маглев учесть также мнения потенциальных потребителей, т.е. ежедневных пользователей транспортных систем. Эти оценки потребителей могут значительно отличаться от мнений экспертов – и в то же время являются важным критерием, поскольку точка зрения потребителя является важным фактором, определяющим готовность использовать различные транспортные системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование было полностью профинансировано Международным советом по магнитной левитации и Техническим университетом Деггендорфа, Германия. Полная версия исследования доступна в виде документа с открытым доступом [20].

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. Fritz E, Witt M, Klühspies J, et al. Weltweite Magnetbahnentwicklungen und deren Einsatzchancen. *Der Eisenbahningenieur*. Band 11 (Teil 1) und 12 (Teil 2), 2021. [cited 2023 May 12] Available from: https://www.researchgate.net/publication/356192129_Weltweite_Magnetbahnentwicklung_gen_und_deren_Einsatzchancen_-_Teil_1
2. Hekler M, Klühspies J. Disruptive technologies transforming urban mobility? The role of the ecobee urban maglev system in the Seoul traffic vision 2030, South Korea. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3s1):115-123. doi: 10.17816/transsyst201843s1115-123
3. Lin G, Sheng X. Application and further development of Maglev transportation in China. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3s1):36-43. doi: 10.17816/transsyst201843s136-43
4. Stephan R, Pereira A. The Vital Contribution of MagLev Vehicles for the Mobility in Smart Cities. *Electronics*. 2020;9:978. doi: 10.3390/electronics9060978
5. Stephan R, Costa F, Rodriguez E, Deng Z. Retrospective and perspectives of the superconducting magnetic levitation (SML) technology applied to urban transportation. *Transportation Systems and Technology*. 2018;4(3s1):195-202. doi: 10.17816/transsyst201843s1195-202
6. Fedorova M. Tariff Policy Offers on the Line of Magnetic Levitation Transport. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(1):139-157. doi: 10.17816/transsyst202171139-157

7. Smirnov S, Smirnova O. Prospects of maglev transport in the unified integrated transport system of the Eurasian Economic Union. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(2):110-120. doi: 10.17816/transsyst202392110-120
8. Фиронов А.Н., Костенко А.С. Динамическая модель Московской монорельсовой транспортной системы с применением магнитолевитационной технологии // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 67–85. [Fironov AN, Kostenko AS. Dynamic model of the Moscow monorail transport system using magnetolevitation technology. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2022;8(1):67-85. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20228167-85
9. Галенко А.А., Горелов А.Т., Коновалов В.В., Фиронов А.Н. Городской монорельс и модернизация Московской монорельсовой транспортной системы на основе магнитной левитации и линейного электропривода. Транспортные стратегии XXI век. – 2021. – № 46. – С. 9–18. [Galenko AA, Gorelov AT, Konovalov VV, Fironov AN. Gorodskoy monorels I modernizacia Moskovskoy monorelsovoy transportnoy systemy. *Transportnye strategii XXI vek*. 2021;(46):9-18. (In Russ.)]. Доступно по: <http://www.sovstrat.ru/journals/transportnaya-strategiya-21-vek/numbers/nom-trans-46-2021.html> Ссылка активна на: 29.09.2023.
10. Smirnov S, Smirnova O. Economic features of freight maglev transport. *Transportation systems and technology*. 2017;3(1):108-118. doi: 10.17816/transsyst201731108-118
11. Lavrych Y, Plaksin S, Porogila L. Conceptual fundamentals of freight magnetolevitation transport system construction. 2022:78-93. [cited 2023 May 22] Available from: https://www.researchgate.net/publication/369798255_CONCEPTUAL_FUNDAMENTALS_OF_FREIGHT_MAGNETOLEVITATION_TRANSPORT_SYSTEM_CONSTRUCTION
12. Gurol S, Baldi B. Overview of the General Atomics Urban Maglev Technology Development Program. 2004:187-191. doi: 10.1109/RRCON.2004.1300918
13. Franca T, Shi H, Deng Z, Stephan R. Overview of Electrodynamic Levitation Technique Applied to Maglev Vehicles. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. doi: 10.1109/TASC.2021.3089104
14. Lanzara G, D'Ovidio G, Li H, et al. Magnetic levitation systems assessment from transport engineering point of view: background and future prospects. *Ingegneria Ferroviaria*. 2021:557-593. [cited 2023 May 12] Available from: https://www.researchgate.net/publication/353945752_MAGNETIC_LEVITATION_SYSTEMS_ASSESSMENT_FROM_TRANSPORT_ENGINEERING_POINT_OF_VIEW_BACKGROUND_AND_FUTURE_PROSPECTS
15. Amaral W, Brandão G, Castanon J. *Maglev Technology Review for Improving Urban Mobility*. doi: 10.1007/978-3-319-94706-8_30
16. Сундуков Е.Ю., Шифрин Б.М., Сундукова В.Е. Построение многоканальных магнитолевитационных систем // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 120–130. [Sundukov EY, Shifrin BM, Sundukova VE. Construction of multichannel magnetolevitation systems. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):120-130 (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst202173120-130
17. Stephan R, Deng Z. Past, present and future of Superconducting Magnetic Levitation (SML). *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(1):5-19. doi: 10.17816/transsyst2023915-19
18. Zaitsev A, Klühspies J, Kircher R, et al. Maglev 2018. Abstracts of the 24th International Conference. St. Petersburg, Russian Federation. [cited 2023 Sep 20] Available from: <http://mtstpgups.ru/pictures/mtst18-maglev2018/Theses-correction-30072018.pdf>

19. Klühspies J. *Zukunftsaspekte europäischer Mobilität: Perspektiven und Grenzen einer Innovation von Magnetschnellbahntechnologien*. Habilitationsschrift, 2008. [cited 2023 May 12] Available from: https://www.researchgate.net/publication/284160042_Zukunftsaspekte_europaischer_Mobilitat_Perspektiven_und_Grenzen_einer_Innovation_von_Magnetschnellbahntechnologien
20. Wenk M, Klühspies J, Blow L, et al. Maglev: Science Experiment or the Future of Transport? Practical Investigation of Future Perspectives and limitations of Maglev Technologies. *The International Maglev Board*. Research Series Vol. 1, 2018. [cited 2023 May 12] Available from: https://www.researchgate.net/publication/327651814_Maglev_Science_Experiment_or_the_Future_of_Transport_Practical_Investigation_of_Future_Perspectives_and_Limitations_of_Maglev_Technologies_in_Comparison_with_Steel-Wheel-Rail
21. Fritz E, Klühspies J, Kircher R, et al. Feinstaubemissionen bei Hochgeschwindigkeitszügen und Magnetschnellbahnen. *The International Maglev Board*. Research Series Vol. 5, 2021. [cited 2023 May 12] Available from: https://www.researchgate.net/publication/343794805_Particulate_matter_in_high-speed_rail_and_maglev_systems_Tonkaa_pyl_v_vysokoskorostnyh_relsovyh_sistemah_i_maglev_Feinstaubemissionen_bei_Hochgeschwindigkeitszugen_und_Magnetschnellbahnen
22. Якунин В.И. Транспортные революции и новая скорость жизни. 44 с. [Yakunin VI. *Transport revolution and new speed of life*. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 29.09.2023. Доступно по: file:///D:/Downloads/Prepress_Yakunin_Transportrevolution_2022.pdf https://www.researchgate.net/publication/366617833_Transport_revolution_and_new_speed_of_life
23. Klühspies J, Kircher R, Hänel S, et al. Maglev Systems for Urban and Regional Transport? An International Survey in the Transport Sector. *The International Maglev Board Research*. Series Vol. 7, 2023. [cited 2023 Aug 30] Available from: https://www.researchgate.net/publication/372647163_Maglev_Systems_for_Urban_and_Regional_Transport

Информация об авторах:

Йоханнес Оливер Ключспис, доктор наук, полный профессор;
ORCID: 0000-0001-6089-9853; Scopus ID: 57200284530; ResearcherId: L-2665-2015;
E-mail: jok@maglevboard.net

Роланд Кирхер, доктор технических наук;
ORCID: 0000-0002-8807-8915;
E-mail: rk@maglevboard.net

Михаэль Витт, инженер;
E-mail: mikewitt@maglevboard.net

Симон Хэнель, географ;
E-mail: haenel@kcw-online.de

Лоуренс Е. Блоу, аэрокосмический инженер;
E-mail: larry@maglevtransport.com

Information about the authors:

Johannes Oliver Kluehspies, Dr. habil., Dr. h.c., Full Professor;
ORCID: 0000-0001-6089-9853; Scopus ID: 57200284530; ResearcherId: L-2665-2015;
E-mail: jok@maglevboard.net

Roland Kircher, Doctor of Technical Sciences;

ORCID: 0000-0002-8807-8915;

E-mail: rk@maglevboard.net

Michael Witt, Engineer;

E-mail: mikewitt@maglevboard.net

Simon Haenel, Geographer;

E-mail: haenel@kcw-online.de

Laurence E. Blow, aerospace engineer;

E-mail: larry@maglevtransport.com

Цитировать:

Клюшпис Й., Киршер Р., Витт М., и др. Среднескоростные маглев-системы: подходящие области применения с точки зрения транспортной отрасли // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 3. – С. 75–94. doi: 10.17816/transsyst20239375-94

To cite this article:

Klühspies J, Kircher R, Witt M, et al. On the suitability of medium speed maglev transport systems: an analysis of perceptions in the transportation sector. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(3):75-94. doi: 10.17816/transsyst20239375-94

2023;9(3)

Электронный

оригинал-макет

подписан к публикации

30.09.2023

94 страницы Ф А4

сверстан в редакции ПГУПС

190131, Санкт-Петербург,

Московский пр., д. 9