

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)
ВАК (Высшая аттестационная комиссия)
Google Scholar
WorldCat
Crossref
CyberLeninka

КОНТАКТЫ

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

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

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

Эл№ФС77-53673 от 17.04.2013 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

ОПИСАНИЕ ЖУРНАЛА

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

ПУБЛИКАЦИЯ В ЖУРНАЛЕ

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

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Том 7, № 4

2021

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

Зайцев Анатолий Александрович,
д.э.н., профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

Никитин Виктор Валерьевич,
д.т.н., профессор ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AIMS & SCOPE

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

JOURNAL CONTENT SELECTION

The journal selects material based on the double-blind peer-review conducted by members of the editorial board and external experts.

To be published, the manuscript and all accompanying files should be sent to the editorial team through a personal account on the journal's website at: <http://trassyst.ru/>

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

MODERN TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Vol. 7, Issue 4

2021

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

Anatoly Zaitsev, Dr. Economics, Professor, PSTU, St. Petersburg, Russia

THE SCIENTIFIC EDITOR

Viktor Nikitin, Dr.Sc., Professor, PSTU, St. Petersburg, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

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

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

Rivner Ganiev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, Director Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

Johannes Kluehspies, 2nd Dr.'s Degree, Full Professor at Deggendorf Institute of Technology, Munich, Germany;

Vladimir Kolesnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc..., Professor, the President Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;

Irina Kruchinina, Dr.Sc., Acting Director of Institute of Silicate Chemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia;

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

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

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

Radik Mulyukov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Physics and Mathematics, Director of Superplasticity Metals Institute for Metals Superplasticity Problems at RAS, Ufa, Russia;

Sergey Mylnikov, PhD, Associate professor, Scientific secretary LCC "Eco-Vector", St. Petersburg, Russia;

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

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

Aleksandr Panychev, PhD, Associate professor, rector Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;

Viktor Podsorin, Doctor of Economics Science, Professor Russian Transport University, Moscow, Russia;

Sirirangsi Poovadol, Dr.Sc., MBA, Deputy Dean Faculty of Logistics and Transportation Management Panyapiwat Institute of Management, Pakkred, Thailand;

Yana Sokolova, PhD, MBA, Deputy Head Scientific-Educational Center for Innovative Passenger Transport Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;

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

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

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

Tamila Titova, Dr.Sc., Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Research at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia;

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

СОДЕРЖАНИЕ		TABLE OF CONTENTS
ОБЗОРЫ		REVIEWS
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов Аверченко Г.А, Васильев К.А., Рудакова Е.А., Шашко А.И., Борисов В.А. Регулирование усилий в балочно-вантовых системах	5	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Design and Construction of Roads, Subways Averchenko G.A., Vasiliev K.A., Rudakova E.A., Shashko A.I., Borisov V.A. Force control in girder-cable systems
ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ		ORIGINAL STUDIES
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехника Акулицкий С.Г., Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.А., Васильев В.Н., Гаврилов С.В., Деомидов В.В., Зайцев А.А., Капаркова М.В., Коротков Р.В., Кухтин В.П., Лабусов А.Н., Ламзин Е.А., Ларионов М.С., Маханьков Н.А., Неженцев А.Н., Овсянников Д.А., Родин И.Ю., Сычевский С.Е., Суханова М.В., Шатиль Н.А., Шкулепа А.А., Фирсов А.А. Результаты стендовых испытаний прототипа полномасштабного гибридного электромагнита для систем маглев	14	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Engineering Akulitzky S.G., Amoskov V.M., Arslanova D.N., Belov A.A., Vasiliev V.N., Gavrilov S.V., Deomidov V.V., Zaytzev A.A., Kaparkova M.V., Korotkov R.V., Kukhtin V.P., Labusov A.N., Lamzin E.A., Larionov M.S., Makhankov N.A., Nezhentzev A.N., Ovsyannikov D.A., Rodin I.Yu., Shatil N.A., Shkulepa A.A., Sukhanova M.V., Sytchevsky S.E., Firsov A.A. Bench testing of hybrid EMS prototype
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехнические комплексы и системы Хтай Ч.З., Глушенков В.А., Комаров В.А. Анализ возможности использования солнечной энергии энергообеспечения инновационной транспортной системы ЭЛТРО для Мьянмы	33	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Complexes and Systems Htay Th.Z., Glushenkov V.A., Komarov B.A. Analysis of the possibility of using solar energy to supply the innovative ELTRO transport system for Myanmar
Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ Направление – Электротехнические комплексы и системы Яшнов А.Н., Васильчук Л.А., Кузьменков П.Ю., Чаплин И.В. Диагностика и мониторинг состояния струнных транспортных систем	43	Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS Field – Electrical Complexes and Systems Yashnov A.N., Vasilchuk L.A., Kuzmenkov P.Yu., Chaplin I.V. Transport systems load-bearing structures state diagnostics and monitoring

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Фёдорова М.В. Разработка методики оценки мест размещения многофункциональных транспортно-пересадочных узлов	52	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Fedorova M.V. Forecast of Demand for the Use of Maglev Transport
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Чеченова Л.М., Волыхина Н.В. Тенденции устойчивого развития транспортных систем экомобильности	65	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Chechenova L.M., Volykhina N.V. Trends for sustainable development of ecomobility transportation systems
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Квитко К.Б. Структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера	76	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Kvitko K.B. Structural and logical model of transport cluster
Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА Косарев А.Б., Римская О.Н., Анохов И.В. Опережающее развитие железнодорожного транспорта с помощью цифровых технологий	90	Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS Kosarev A.B., Rimskaya O.N., Anokhov I.V. Advanced development of railway transport using digital technologies

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК 624.042

DOI 10.17816/transsyst2021745-13

© Г. А. Аверченко, К. А. Васильев, Е. А. Рудакова, А. И. Шашко,
В. А. Борисов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(Санкт-Петербург, Россия)

РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В БАЛОЧНО-ВАНТОВЫХ СИСТЕМАХ

Объектом исследования являются усилия в балочно-вантовых системах. Внедрение в строительство данных систем связано с задачей о создании предварительного напряжения с целью регулирования напряженно-деформированного состояния балочно-вантовой системы в целом. Преднапряжение позволит рационально использовать в конструкции высокопрочные материалы, экономично запроектировать конструкцию. При проектировании балочно-вантовых конструкций пролетных строений мостов приходится определять последовательность напряжения элементов конструкции – вантов с целью регулирования усилий в балочном элементе конструкции. Эта задача и рассматривается в данной статье. Для регулирования напряженно-деформированного состояния системы с помощью натяжения вантов в оптимальной последовательности используется метод динамического программирования. Для решения задач приведены формулы для выходной величины и критерия оптимальности, а также матрицы. В итоге найдены интересующие значения выходных величин на всех этапах натяжения вантов.

Ключевые слова: балочно-вантовая система, преднапряжение, напряженно-деформированное состояние, натяжение вантов, метод динамического программирования, выходная величина, критерий оптимальности.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and Construction of Roads, Subways

© G. A. Averchenko, K. A. Vasilev, E. A. Rudakova, A. I. Shashko,
V. A. Borisov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(St. Petersburg, Russia)

FORCE CONTROL IN GIRDER-CABLE SYSTEMS

The object of the study is the forces in the beam-cable systems. The introduction of these systems in construction is associated with the task of creating a pre-stress in order to regulate the stress-strain state of the beam-cable system as a whole. Prestressing will make it

possible to rationally use high-strength materials in the structure, and to design the structure economically. When designing girder-cable-stayed structures of bridge spans, it is necessary to determine the sequence of stresses of the structural elements-shrouds in order to regulate the forces in the beam element of the structure. This problem is considered in this article. The dynamic programming method is used to regulate the stress-strain state of the system by pulling the shrouds in the optimal sequence. To solve the problems, formulas for the output value and the optimality criterion, as well as the matrix, are given. As a result, the values of the output values of interest at all stages of the tension of the shrouds are found.

Key words: beam-cable system, prestressing, stress-strain state, cable tension, dynamic programming method, output value, optimality criterion.

ВВЕДЕНИЕ

Решению задач, поставленных в области научно-технического прогресса в транспортном строительстве, будет способствовать внедрение новых экономичных конструкций, среди которых значительное место занимают балочно-вантовые [1].

Широкое внедрение в практику строительства балочно-вантовых систем связано с решением ряда задач проектирования, важнейшей из которых является создание предварительного напряжения с целью регулирования напряженно-деформированного состояния балочно-вантовой системы в целом.

Преднапряжение сложной и ответственной конструкции балочно-вантового пролетного строения – обычно осуществляется путем многократных натяжений вант с постепенным приближением к проектным значениям [2]. Такой путь создания преднапряжения весьма трудоемок. Очевидно, что метод подбора не гарантирует получение оптимального решения и может быть улучшен, что привело бы к экономии времени и средств.

ОПТИМАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НАТЯЖЕНИЯ ВАНТОВ

Решить задачу оптимальной последовательности натяжения вантов с целью регулирования напряженно-деформированного состояния системы можно, используя метод динамического программирования.

Опустив общие сведения из теории оптимального управления, постановку и решение задачи можно представить следующим образом.

Пусть напряженно-деформированное состояние системы характеризуется некоторой выходной величиной

$$\bar{X} = \bar{F}(\bar{Y}, \bar{\Psi}, \bar{P}, \bar{H}), \quad (1)$$

где $\bar{X}$ – выходная величина (изгибающие моменты, усилия, перемещения); $\bar{Y}$ – геометрические характеристики системы; $\bar{\Psi}$ – жесткостные

характеристики системы; $\bar{P}$ – внешняя нагрузка; $\bar{H}$ – усилия преднапряжения вантов; $\bar{F}$ – закон соответствия между перечисленными множествами функций [3].

Заданы начальное и конечное напряженно-деформированное состояние системы. Поскольку геометрические и физические параметры объекта обычно не варьируются, вектор функции $\bar{Y}, \bar{\Psi}, \bar{P}$ можно включить в состав оператора $\bar{F}$. Тогда зависимость (1) можно записать в виде

$$\bar{X} = \bar{\Phi}(\bar{H})$$

Здесь $\bar{\Phi}$ – нелинейный оператор, который может быть задан различными способами – с помощью формул, графиков, таблиц.

Состояние балочно-вантовой системы в процессе управления может быть охарактеризовано одним из параметров, из-за меняющимся в процессе управления и в достижении экстремума, которого мы заинтересованы [4]. Такими параметрами в рассматриваемой задаче могут быть изгибающие моменты или поперечные силы в балке, перемещения точек балки, минимум которых мы хотим получить в процессе создания преднапряжения системы.

В процессе управления мы хотим получить некоторый выигрыш, т. е. преследуем определенную цель. Выбор цели управления может быть, в общем, произвольным [5].

В зависимости от той или иной цели может быть сформулирован некоторый критерий оптимальности J .

$$J = \max_{0 \leq t \leq T} |\bar{M}_{(t)}^* - \bar{M}_{(t)}| \quad (2)$$

Для нашей задачи о максимальном выравнивании изгибающих моментов в балке жесткости критерий оптимальности примет вид

$$J = \sum_{t=1}^N f_t^0(X_{(t-1)}, U_{(t)}),$$

и требуется выбрать управляющие параметры так, чтобы обеспечить условие

$$\min J = \min \max |\bar{M}_{(t)}^* - \bar{M}_{(t)}| = J(M_0) \quad (3)$$

Условие (3) определяет системы управления, называемые на минимакснооптимальными. Здесь $\bar{M}_{(t)}^*$ – некоторое заданное распределение изгибающих моментов в балке; $\bar{M}_{(t)}$ – текущее значение изгибающих моментов; $J(M_0)$ минимальное значение, зависящее от начальных условий.

Вектор $\bar{M}_{(t)}^*$ представляет собой некоторую наперед заданную последовательность чисел, например, допустимые значения изгибающих

моментов в балке. Разность $\bar{M}^* - \bar{M}$ будет представлять собой меру «ухудшения» состояния системы в процессе управления, и нашей задачей будет являться минимизация этого «ухудшения» [6]. Таким образом, задача формулируется следующим образом.

Задана дискретная управляемая система:

$$X_t = f(x_{(t-1)}, u_{(t)}), \quad (4)$$

$$U_{(t)} \in U_t(x_{(t-1)}), t = 1, \dots, N$$

Требуется перевести систему из заданного начального состояния X_0 в конечное состояние $X_{(N)}$ путем вариации вектора управления $\bar{U}$ так, чтобы критерий оптимальности J получил экстремальное значение.

При решении этой задачи необходимо знать зависимость выходных параметров от усилий натяжения вантов, являющихся управляющими параметрами [7, 8]. Эту информацию можно получить на основании расчета рассматриваемой системы по деформированной схеме. Не останавливаясь на сущности этого метода, ограничимся лишь некоторыми существенными для последующего изложения замечаниями [9, 10]. В процессе натяжения вантов не происходит значительных перемещений опорных узлов, которые могли бы существенно изменить геометрические соотношения в расчетной схеме конструкции [11]. Поэтому в большинстве случаев соотношения между управляющими и выходными параметрами являются линейными либо достаточно близкими к линейным, что допускает применение принципа независимости действия сил.

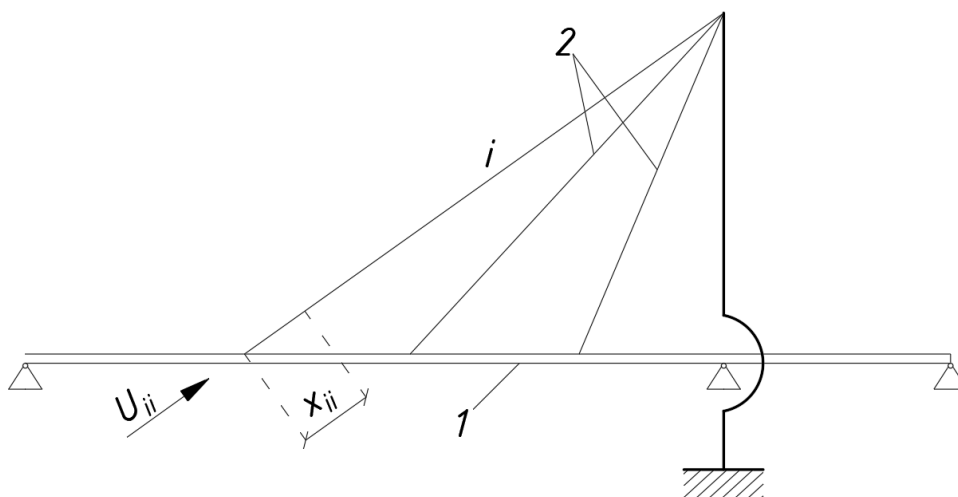


Рис. Схема балочно-вантовой системы: 1 – балка; 2 – ванты

Рассмотрим балочно-вантовую систему, представленную на Рис. Пусть система находится в равновесии напряженно-деформированном состоянии S_0 . При этом усилия в вантах имеют значения U_{i0} .

Дадим i -тому ванту единичное приращение усилия $U_{ii} = 1$ [12, 13]. В результате получим новое напряженно-деформированное состояние S_{01} системы, для которого вычислим приращение усилий во всех остальных вантах, а также единичные значения интересующей нас выходной величины X_{ij} . Прделаав аналогичные операции для всех вантов, получим матрицы

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} U_{11} & . & . & . & U_{1n} \\ . & . & . & . & . \\ U_{n1} & . & . & . & U_{nn} \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} X_{11} & . & . & . & X_{1n} \\ . & . & . & . & . \\ X_{n1} & . & . & . & X_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Матрица $\bar{U}$ – квадратная порядка n по числу вантов. Матрица X – прямоугольная, имеет размерность $m \times n$, где m – произвольное число точек, в которых фиксируются значения выходной величины [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собственные значения усилий U_i^* напряжения за один раз каждого ванта для перевода системы от начального состояния S_0 в конечное состояние S_k находят из матричного уравнения

$$U \cdot U^* = P, \quad (6)$$

где элементы $P_i = U_{ik} - U_{i0}$ представляют собой известные из заданных условий приращения усилий в вантах [15]. Изменения напряженно-деформированного состояния системы в процессе поочередного натяжения вантов в последовательности 1, 2,... могут быть представлены в виде

$$\begin{bmatrix} X_{11} & . & . & . & X_{1n} \\ X_{21} & . & . & . & X_{2n} \\ . & . & . & . & . \\ X_{m1} & . & . & . & X_{mn} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} U_1^* \\ 0 \\ . \\ . \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ U_2^* \\ . \\ . \\ 0 \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ . \\ . \\ U_n^* \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ . \\ . \\ P_m \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где P_i — конечные значения усилий преднапряжения вантов.

В этом решении нас более интересуют значения выходных величин на всех этапах натяжения. Поэтому запишем левую часть (7) в виде

$$X = \begin{bmatrix} X_{11}U_1^* & X_{12}U_2^* & . & . & X_{1n}U_n^* \\ X_{21}U_1^* & X_{22}U_2^* & . & . & X_{2n}U_n^* \\ . & . & . & . & . \\ X_{m1}U_1^* & X_{m2}U_2^* & . & . & X_{mn}U_n^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

Значения выходных величин системы для любого t -го этапа натяжения равны сумме набора из t столбцов матрицы (8).

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. Кирсанов М.Н. Статический расчет вантовой системы // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – № 3(17). – С. 89-93. [Kirsanov MN. Staticheskiy raschet vantovoj sistemy. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2013;(3(17)):89-93. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21250012&>
2. Козьмин Н. А. О некоторых способах определения усилий регулирования в вантово-балочных мостах // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 28. – С. 103–108. [Koz'min NA. O nekotoryh sposobah opredeleniya usilij regulirovaniya v vantovo-balochnyh mostah. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2012;(28):103-108. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21089721>
3. Карлов М.А., Крисько А.А. О распределении внутренних усилий вантового моста путем регулирования усилий в вантах // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи - развитию науки и образования. – 2017. – С. 524–527. [Karlov MA, Kris'ko AA. O raspredelenii vnutrennih usilij vantovogo mosta putem regulirovaniya usilij v vantah. *Potencial intellektual'no odarennoj molodezhi - razvitiyu nauki i obrazovaniya*. 2017;524-527. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29126406>
4. Раззаков С.Р., Раззаков Н.С., Ахмадиёров У.С., Хуррамов Х.К. Деформированное состояние предварительно напряженных двухпоясных вантовых покрытий при симметричных и односторонних нагрузках // Лолейтовские чтения-150. Современные методы расчета железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям. – 2018. – С. 351–356. [Razzakov SR, Razzakov NS, Ahmadiyovov US, Hurrarov HK. Deformirovannoe sostoyanie predvaritel'no napryazhennyh dvuhpoyasnyh vantovyh pokrytij pri simmetrichnyh i odnostoronnyh zagruzheniyah. "Lolejtovskie chteniya-150". *Sovremennye metody rascheta zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij po predel'nyam sostoyaniyam*. 2018;351-356. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37190732>
5. Дороган А.С. Вантово-висячие мосты с прямолинейными вантами. Часть 1 // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 5 (244). – С. 2–9. [Dorogan AS. Vantovo-visyachie mosty s pryamolinejnymi vantami. CHast' 1. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. 2012;(5(244)):2-9. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18173969>
6. Кирсанов М.Н. Аналитический расчет деформаций и усилий в плоской вантовой ферме // Механизация строительства. – 2018. – № 1. – С. 29–33. [Kirsanov MN. Analiticheskiy raschet deformacij i usilij v ploskoj vantovoj ferme. *Mekhanizaciya stroitel'stva*. 2018;(1):29-33. (In Russ.)]. Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32574765>
7. Хоанг А.З. Определение растягивающих усилий в кабелях вантовых систем // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2016. – № 2 (76). – С. 25–27. [Hoang AZ. Opredelenie rastyagivayushchih usilij v kabelyah vantovyh sistem. *Nauka i tekhnika v*

- dorozhnoj otrasli. 2016;(2(76)):25-27. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26289980>
8. Козьмин Н.А. Определение усилий регулирования для вантового пролетного строения пешеходного моста, сооружаемого на временных опорах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 4 (33). – С. 187–197. [Koz'min NA. Opredelenie usilij regulirovaniya dlya vantovogo proletnogo stroeniya peshekhodnogo mosta, sooruzhaemogo na vremennyh oporah. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2011;(4 (33)):187-197. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17111403>
 9. Уласевич В.П. Статический расчет гибких стержневых систем сложной геометрической структуры методом деформаций // Вестник брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1 (109). – С. 73–77. [Ulasevich VP. Staticheskij raschet gibkikh sterzhnevyyh sistem slozhnoj geometricheskoj struktury metodom deformacij. *Vestnik brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Stroitel'stvo i arhitektura. 2018;(1 (109)):73-77. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37331830>
 10. Дороган А.С. Ретроспектива вантово-висячих мостов повышенной аэродинамической устойчивости // Известия ТРАНССИБА. – 2017. – № 1 (29). – С. 105–111. [Dorogan AS. Retrospektiva vantovo-visyachih mostov povyshennoj aerodinamicheskoy ustojchivosti. *Izvestiya TRANSSIBA*. 2017;(1(29)):105-111. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29411227>
 11. Фарниева М.В. Усилия в покрытиях с радиальной системой вант // Молодежный научный форум. – 2019. – С. 77–82. [Farnieva MV. Usiliya v pokrytiyah s radial'noj sistemoj vant. *Molodezhnyj nauchnyj forum*. 2019;77-82. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://nauchforum.ru/studconf/science/31/46078>
 12. Яшнов А.Н., Чаплин И.В., Быкова Н.М., Баранов Т.М. Мониторинг усилий натяжения вант виноградовского моста через протоку татышева в г. Красноярске по частотам их собственных колебаний // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4 (68). – С. 135–141. [Yashnov AN, CHaplin IV, Bykova NM, Baranov TM. Monitoring usilij natyazheniya vant vinogradovskogo mosta cherez protoku tatysheva v g. Krasnoyarske po chastotam ih sobstvennyh kolebanij. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2017;(4(68)):135-141. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32274160>
 13. Мироненко Е.Д., Бабичев А.А., Склезнев А.А. К вопросу обеспечения натяжения вант композитного бака высокого давления космического аппарата // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2019. – № 1 (43). – С. 66–70. [Mironenko ED, Babichev AA, Skleznev AA. K voprosu obespecheniya natyazheniya vant kompozitnogo baka vysokogo davleniya kosmicheskogo apparata. *Vestnik NPO im. S.A. Lavochkina*. 2019;(1(43)):66-70. (In Russ.)). Ссылка активна на 16.04.2021. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37254792>
 14. Юшков В.С., Кычкин В.И., Бармин Н.Д. Реализация диагностики и ремонта мостовых сооружений // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 118–125. [Yushkov VS, Kychkin VI, Barmin ND. Realizaciya diagnostiki i remonta mostovyh sooruzhenij. *Vestnik MGSU*. 2016;(6):118-125. (In Russ.)). Ссылка активна на 17.03.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26210458>

15. Тимофеев Д.Р., Тимофеев Д.Д. Усиление мостовых конструкций с использованием композиционных материалов // Актуальные проблемы автомобильного, железно-дорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе: материалы междунар.науч.-техн. конф. (1–3 декабря 2005 г.). Пермь: ПГТУ. – 2005. – С. 45–51. [Timofeev DR, Timofeev DD. Usilenie mostovykh konstrukcij s ispol'zovaniem kompozicionnyh materialov. Aktual'nye problemy avtomobil'nogo, zheleznno-dorozhnogo, truboprovodnogo transporta v Ural'skom regione: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (1-3 dekabrya 2005 g.). Perm': PGU. 2005;45-51. (In Russ.)]. Ссылка активна на 17.03.2021. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002872497>

Сведения об авторах:

Аверченко Глеб Александрович, ассистент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;
E-mail: averchenko_ga@spbstu.ru

Рудакова Елена Андреевна, студент, Инженерно-строительный институт;
ORCID: 0000-0002-2083-9714;
E-mail: rudakova.ea@edu.spbstu.ru

Шашко Анастасия Игоревна, студент, Инженерно-строительный институт;
ORCID: 0000-0002-9399-2410;
E-mail: shashko.ai@edu.spbstu.ru

Борисов Вячеслав Андреевич, студент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;
E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru

Васильев Кирилл Андреевич, студент, Инженерно-строительный институт;
eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;
E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru

Information about the authors:

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

Elena A. Rudakova, student;
ORCID: 0000-0002-2083-9714;
E-mail: rudakova.ea@edu.spbstu.ru

Anastasiya I. SHashko, student;
ORCID: 0000-0002-9399-2410;
E-mail: shashko.ai@edu.spbstu.ru

Vyacheslav A. Borisov, student;
eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;
E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru

Kirill A. Vasilev, student;
eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;
E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru

Цитировать:

Аверченко Г.А., Васильев К.А., Рудакова Е.А. и др. Регулирование усилий в балочно-вантовых системах // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 5–13. doi: 10.17816/transsyst2021745-13

To cite this article:

Averchenko GA, Vasilev KA, Rudakova EA, et al. Force control in girder-cable systems. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):5-13. doi: 10.17816/transsyst2021745-13

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехника

УДК 629.439:621.313.282:621.318.1/.3

DOI 10.17816/transsyst20217414-32

© С. Г. Акулицкий¹, В. М. Амосков¹, Д. Н. Арсланова¹, А. А. Белов¹,
В. Н. Васильев¹, С. В. Гаврилов¹, В. В. Деомидов¹, А. А. Зайцев²,
М. В. Капаркова¹, Р. В. Коротков¹, В. П. Кухтин¹, А. Н. Лабусов¹,
Е. А. Ламзин¹, М. С. Ларионов¹, Н. А. Маханьков¹, А. Н. Неженцев¹,
Д. А. Овсянников^{3,1}, И. Ю. Родин¹, С. Е. Сычевский^{4,1}, М. В. Суханова¹,
Н. А. Шатиль¹, А. А. Шкулепа¹, А. А. Фирсов¹

¹ АО «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д. В. Ефремова»

² Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

³ Санкт-Петербургский Государственный Университет промышленных
технологий и дизайна

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет
(Санкт-Петербург, Россия)

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОТОТИПА ПОЛНОМАСШТАБНОГО ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА ДЛЯ СИСТЕМ МАГЛЕВ

Цель: Анализ результатов измерения силовых характеристик магнита на специализированном сертифицированном стенде АО «НИИЭФА»

Материалы и методы: Измерения силовой характеристики магнита АО «НИИЭФА» со стальной пластиной проводились на сертифицированном стенде НИИЭФА с помощью испытательной машины, способной измерять усилия до 100 кН.

Результаты: Получено совпадение результатов натурального и численного моделирования с требуемой на практике точностью.

Заключение: В АО «НИИЭФА» разработан и изготовлен полномасштабный прототип серийного образца гибридного электромагнита (ГЭМ) подвеса магнитолевитационного транспортного средства. Прототип предложенного авторами ГЭМ характеризуется пониженным энергопотреблением и низким уровнем полей рассеяния. Описываемые в работе испытания ГЭМ на сертифицированном специализированном стенде АО «НИИЭФА» были нацелены на подтверждение принятых конструкционных решений и правильности результатов численного моделирования. Проведенные измерения электромагнитных сил подтвердили правильность результатов численного моделирования.

Ключевые слова: стендовые испытания, гибридный электромагнит, маглев, результаты эксперимента

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Electrical Engineering

© S. G. Akulitzky¹, V. M. Amoskov¹, D. N. Arslanova¹, A. A. Belov¹,
V. N. Vasiliev¹, S. V. Gavrilov¹, V. V. Deomidov¹, A. A. Zaytzev²,
M. V. Kaparkova¹, R. V. Korotkov¹, V. P. Kukhtin¹, A. N. Labusov¹,
E. A. Lamzin¹, M. S. Larionov¹, N. A. Makhankov¹, A. N. Nezhentzev¹,
D. A. Ovsyannikov^{3,1}, I. Yu. Rodin¹, N. A. Shatil¹, A. A. Shkulepa¹,
M. V. Sukhanova¹, S. E. Sytchevsky^{4,1}, A. A. Firsov¹

¹ Joint Stock Company “NIIIEFA”² Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University³ St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design⁴ St. Petersburg State University
(St. Petersburg, Russia)**BENCH TESTING OF HYBRID EMS PROTOTYPE****Aim:** To test the levitation performance of a hybrid EMS prototype.**Materials and Methods:** a levitation test setup with a 18 mm thick steel rail was constructed on a basis of the certified test bench 1958U-10-1 for measurement in the range up to 100 kN. The attractive force was investigated by varying the air gap size and coil current. Measured data were compared with parametric simulations.**Results:** Experimental and numerical results agreed with the accuracy required for practical application.**Conclusions:** A prototype of hybrid EMS (HEMS) for maglev transport has been designed, built, and tested at JSC “NIIIEFA”. The HEMS concept has an advantage of reduced power loss and low stray field. The bench testing has proved good levitation performance and low power consumption of the proposed design. The measured data were used to check design solutions and verify 3D numerical models of the magnets. The comparison demonstrated a good match between measurements and simulations.**Key words:** bench testing, hybrid EMS, maglev, measurement results**ВВЕДЕНИЕ**

Новый вид транспорта – магнитолевитационный – использует системы активного магнитного подвеса [1]. Рассматриваемые в работе гибридные электромагниты (ГЭМ) или магниты, выполненные по гибридной технологии, содержат в магнитной цепи помимо токовой катушки высококоэрцитивные постоянные магниты (ПМ). Такие магниты обладают рядом преимуществ перед электромагнитами традиционного исполнения [2–9]. Их существенным достоинством является, например, пониженное энергопотребление. В АО «НИИЭФА» предложены варианты исполнения ГЭМ, защищенные патентами РФ [10, 11]. Оптимальная

конструкция, наряду с низким потреблением электромагнитного подвеса (ЭМП), позволяет добиться практически полного отсутствия магнитных полей рассеяния вне замкнутой магнитной цепи, что обеспечивает высокие экологические характеристики системы и ее электромагнитную совместимость.

Это дает возможность предложить реализуемую на практике технологию магнитолевитационных транспортных систем (МЛТС). На Рис. 1 схематически показано место ГЭМ в системе подвижного экипажа-и неподвижных ферромагнитных направляющих.

В процессе работ над системами магнитной левитации в АО «НИИЭФА» была разработана вычислительная технология, которая позволяет разрабатывать детальные модели различных вариантов подвесов, выполнять их анализ, синтез и оптимизацию [12–18].

Такой подход практически полностью снимает проблему «масштабирования» магнитов по отношению к разрабатываемым транспортным системам. Магнитный расчет выполняется с помощью программного комплекса КОМПРОТ [19] для 3D численной модели магнита в предположении, что магнитопровод изготовлен из стали с магнитными свойствами близкими к стали марки Ст10.

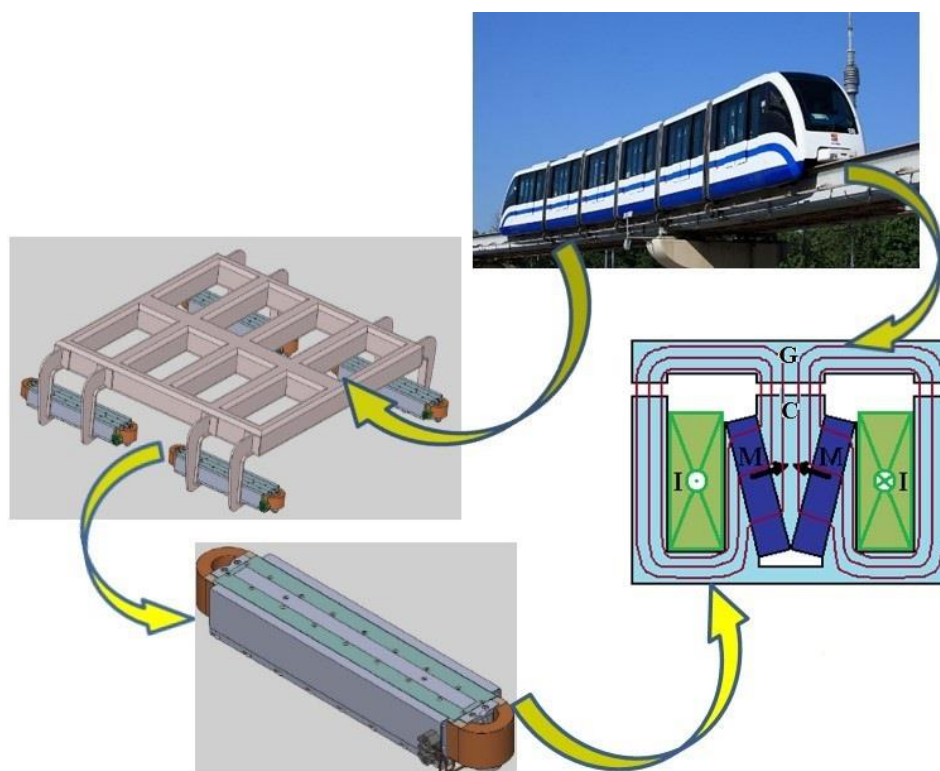


Рис. 1. Вариант российской МЛТС с ЭМП на базе ГЭМ
Состав ГЭМ: стальной магнитопровод (С), токовая катушка (I) и Nd-Fe-B ПМ
Магнитный поток движущегося ГЭМ замыкается через ферромагнитную направляющую (G), закрепляемую на путевой структуре.

Цель настоящей работы состоит в анализе результатов измерения силовых характеристик магнита на специализированном сертифицированном стенде АО «НИИЭФА» [20]. Полученные данные позволят в дальнейшем выполнить возможную необходимую модернизацию стенда, технологической и измерительной оснастки, а также методик и программ измерений для обеспечения подтверждения достоверности пространственных вычислительных моделей и выходного контроля серийных образцов ГЭМ.

ПРОТОТИП ГИБРИДНОГО МАГНИТА ДЛЯ МЛТС

В АО «НИИЭФА» разработан прототип серийного гибридного электромагнита с пониженным энергопотреблением. Параметры магнита удовлетворяют следующим требованиям: диапазон регулирования величины силы притяжения магнита к стальной пластине при зазорах 4–6 мм должен составлять 8–16 кН, габаритные размеры магнита не должны превышать значений ($D \times Ш \times В$) 650×130×150 мм.

Следует отметить, что приведенные величины параметров с методической точки зрения носят достаточно случайный характер, поскольку были продиктованы текущими интересами потенциальных потребителей магнита. Проведенная работа, однако, позволяет обобщить накопленный практический опыт создания подобных систем.

Основные технические параметры изготовленного магнита приведены в Табл. 1.

Таблица 1. Параметры гибридного электромагнита АО «НИИЭФА»

Сечение токовой катушки, мм ²	1450
Коэффициент заполнения проводника медью	0,8
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	240
Проводник марки ПЭЭИП2-155, мм ²	1,12×3,55 (1,28×3,71 в изол.)
Количество витков проводника в катушке	306
Максимальный ток (стационарный), А	10
Максимальный ток (кратковременный), А	15
Индуктивность (при зазоре 5 мм), мГн	150 (I=13 А) и 300 (I=0 А)
Индуктивность (при зазоре ∞), мГн	180 (I=0 А)
Собственная индуктивность катушки, мГн	25
Сопrotивление обмотки, Ом	2
Марка постоянных Nd-Fe-B магнитов	N48SH
Размеры $D \times Ш \times В$, мм	650×130×89
Вес, Н	450

Разработанная технология может быть применена при создании линейки магнитов для подвесов магнитолевитационных транспортных систем разного назначения. Управление пондеромоторной силой

притяжения магнита к ферромагнитной пластине обеспечивается вариацией электрического тока катушки. При отсутствии тока в катушке номинальный уровень генерируемой пондеромоторной силы в 8 кН обеспечивается только постоянными магнитами. При увеличении тока в проводнике катушки от 0 до 13 А пондеромоторная сила изменяется от 8 до 16 кН.

АО «НИИЭФА» имеет большой опыт разработки разнообразных магнитов для электрофизических установок. В основе их проектирования лежит детальное численное моделирование, с последующим экспериментальным подтверждением рабочих характеристик готового изделия. При известных электрических и магнитных свойствах используемых материалов и требуемой точности описания конструкции магнитов расхождение расчетных и измеренных свойств всегда оставалось в допустимых границах, определяемых уровнем ошибок измерения.

В Табл. 2 и на Рис. 2–4 приведены результаты численного моделирования параметров магнита при разных значениях токов в катушке и величин воздушных зазоров.

Таблица 2. Расчетные значения пондеромоторной силы (кН) между магнитом и стальной пластиной для различных величин воздушных зазоров h (мм) и токов в проводнике катушки I (А)

I, A	$h, мм$				
	4	5	6	7	8
0	12,4	9,1	7,0	5,5	4,4
3	14,4	10,9	8,4	6,6	5,3
6	16,1	12,5	9,8	7,8	6,3
9	17,6	13,8	11,0	8,9	7,3
13	19,3	15,4	12,5	10,3	8,5

Для левитационных гибридных магнитов одним из оптимальных вариантов представляется тот, который создает индукцию 1 Тл в зазоре при уровне индукции в магнитопроводе около 1,7 Тл.

Противоречивые требования, сформулированные потенциальным заказчиком, в виде малых допустимых габаритных размеров магнита и диапазона регулирования величины силы приводят к тому, что стальной магнитопровод работает в области значительного магнитного насыщения, то есть индукция в нем существенно превышает оптимальный уровень значений в 1,7–1,8 Тл. В диапазоне индукций, не превышающем указанный уровень, на силовые характеристики магнита относительно слабо влияет используемая марка стали магнитопровода, поэтому ее выбор не столь существенен. В области индукций, превышающих уровень 1,8 Тл, силовые характеристики магнита заметным образом зависят от выбранной марки стали.

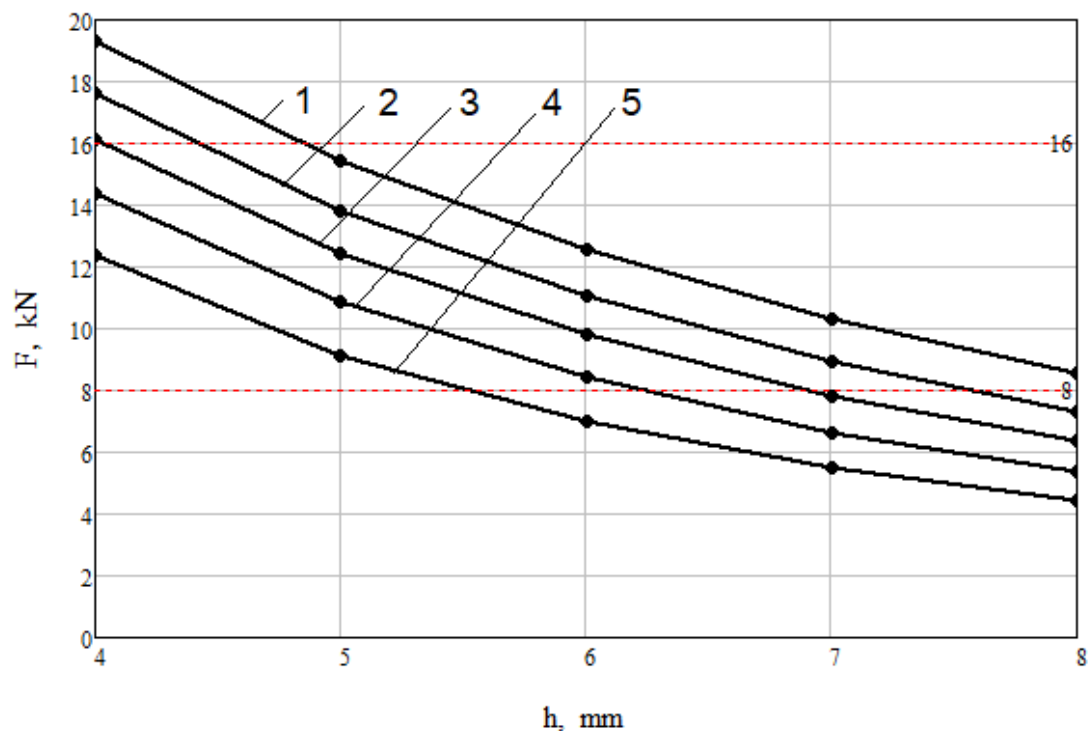


Рис. 2. Расчетная зависимость пондеромоторной силы притяжения магнита к стальной пластине от величины воздушного зазора h при различных значениях тока: 1 - $I = 13$ А, 2 - $I = 9$ А, 3 - $I = 6$ А, 4 - $I = 3$ А, 5 - $I = 0$ А

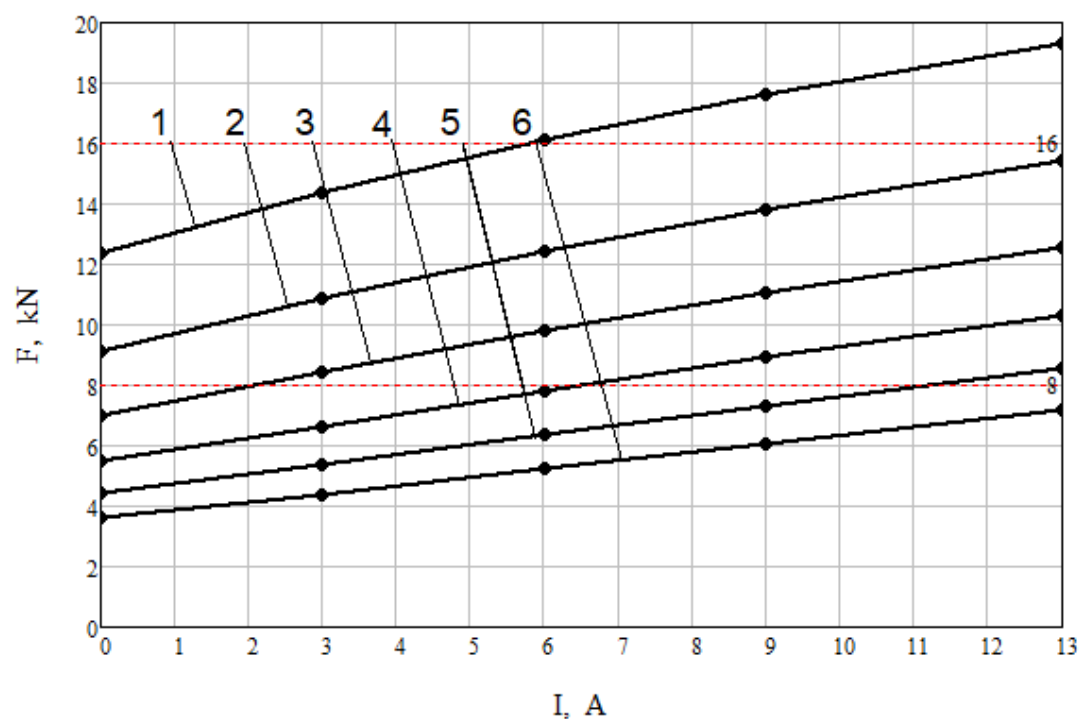


Рис. 3. Расчетная зависимость пондеромоторной силы притяжения магнита к стальной пластине от величины тока I при различных значениях воздушных зазоров: 1 - $h = 4$ мм, 2 - $h = 5$ мм, 3 - $h = 6$ мм, 4 - $h = 7$ мм, 5 - $h = 8$ мм, 6 - $h = 9$ мм

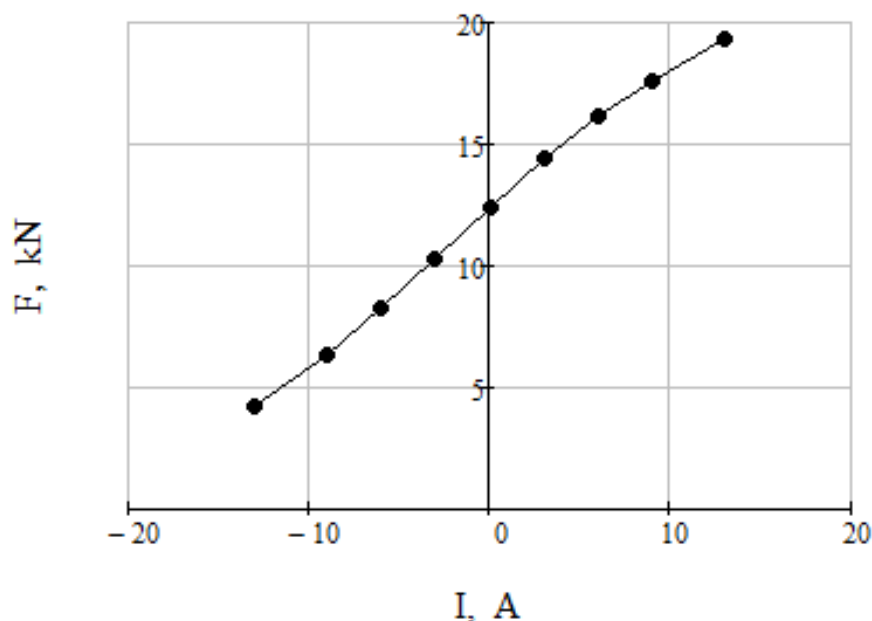


Рис. 4. Расчетная зависимость пондеромоторной силы притяжения магнита к стальной пластине от величины тока при воздушном зазоре $h = 4$ мм

В процессе механических испытаний для обеспечения механической прочности и отсутствия деформаций толщина верхней пластины ГЭМ выбиралась существенно превосходящей ту толщину (18 мм), которой достаточно для того, чтобы пропустить магнитный поток, генерируемый в магните. Дополнительно были проведены измерения с пластиной, толщина, которой была определена как оптимальная с точки зрения магнитной цепи. Полученные данные свидетельствуют о значительных деформациях этой пластины, что требует решения совместной задачи расчета электромагнитных сил и напряженно-деформированного состояния для магнитной системы подвеса как целого. Высказанная рекомендация относится как к оборудованию стенда, так и к собственно путевой структуре МЛТС. К дополнительным проблемам может приводить нагрев катушек при превышении допустимой величины вводимого тока, что, в частности, приводит к увеличению сопротивления катушки и перегреву постоянных магнитов. В итоге это вызовет смещение рабочей точки магнитов ЭМП.

ИСПЫТАНИЯ МАГНИТА

Измерения силовой характеристики магнита АО «НИИЭФА» со стальной пластиной толщиной 18 мм (определение зависимости величины пондеромоторной силы от величины зазора между полюсами магнита и параллельной полюсам стальной пластиной и от величины тока катушки) проводились на сертифицированном стенде НИИЭФА с помощью

испытательной машины 1958У-10-1 зав.№19 [20], способной измерять усилия до 100 кН. Частный и общий вид испытательной машины с установленным приспособлением, обеспечивающим плоскопараллельное перемещение испытуемого магнита относительно стальной пластины, показаны на Рис. 5–7, соответственно.



Рис. 5. Фрагмент испытательной машины со специальным приспособлением 1, закрепленном на траверсе машины 3. Магнит 2 крепится к приспособлению 1, а стальная пластина 4 – к динамометрической штанге 5

Приспособление (1) магнита (2) закрепляется на плоскости подвижной траверсы испытательной машины (3), оборудованной подъемным механизмом, с помощью которого изменяется зазор между плоскостями полюсов магнита и стальной пластины (4). Стальная пластина толщиной 18 мм крепится стационарно (неподвижно) к вертикальной штанге испытательной машины (5), соединенной с измерительным динамометром (диапазон измерения сил ± 100 кН, дискретность измерения – 10 Н). Предполагалось, что стальная пластина (4) при изменении зазора будет скользить по двум направляющим штырям приспособления (1), обеспечивающим соблюдение параллельности плоскости полюсов магнита относительно плоскости пластины (4) при вертикальном перемещении траверсы (3). На Рис. 5 приведен компоновочный вид испытательного приспособления с закрепленным магнитом и стальной пластины, вывешенной на динамометрической штанге.

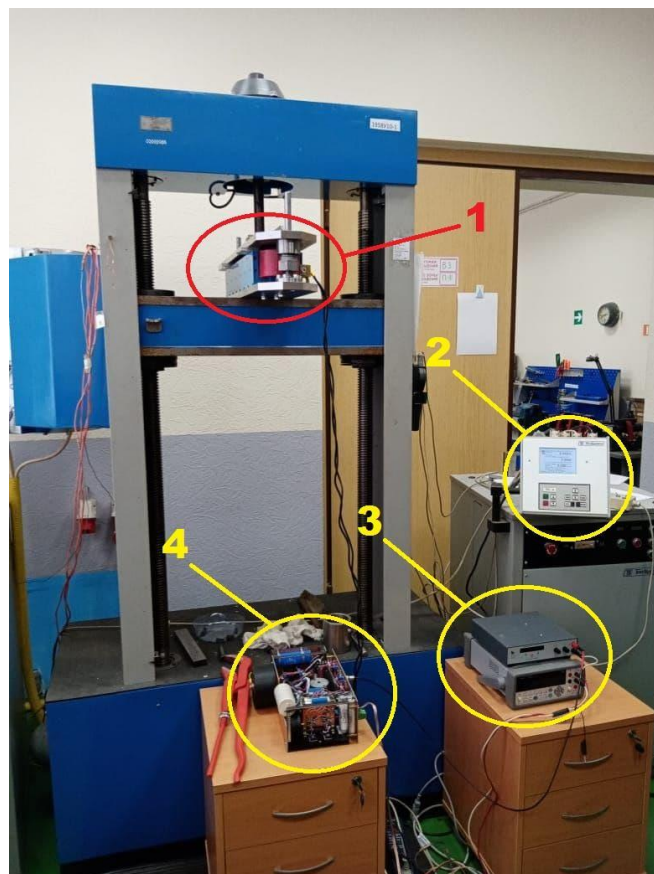


Рис. 6. Испытательный стенд АО «НИИЭФА» на базе машины 1958У-10-1

Метрологического центра ООО «Автопрогресс-М»:

- 1 – закрепленный на траверсе ГЭМ и закрепленная на штанге динамометра пластина;
- 2 – терминал управления машиной;
- 3 – блок управления источником тока ГЭМ;
- 4 – источник тока ГЭМ разработки АО «НИИЭФА»

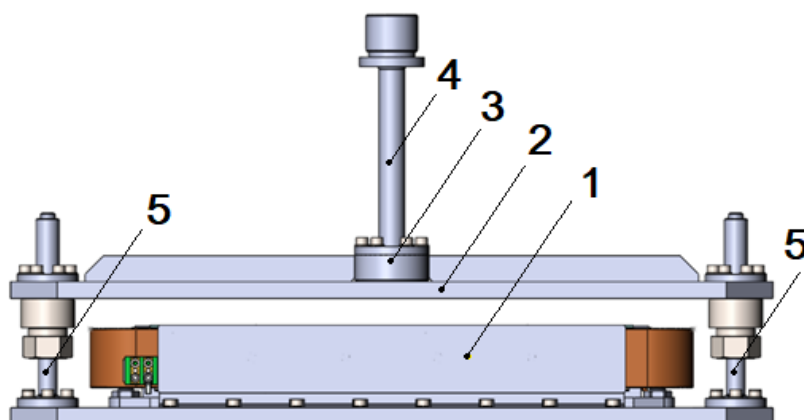


Рис. 7. Приспособление с закрепленным на нем магнитом (1) и стальная пластина (2), соединенная с помощью узла крепления (3) с динамометрической штангой (4) испытательной машины 1958У-10-1; направляющие штыри (5) приспособления служат для обеспечения лучшей параллельности относительного перемещения магнита и пластины

Зазор между плоскостью полюсов магнита и параллельной ей плоскостью стальной пластины выставлялся с помощью набора калиброванных дистанеров известной высоты. В измерениях использовались немагнитные дистанеры с высотами 4, 5, 6, 7, 8 мм. Четыре дистанера выбранного калибра устанавливались на плоскости полюсов магнита в углах. С помощью подвижной траверсы испытательной машины магнит сближался со стальной пластиной до момента касания ее тремя дистанерами. Поскольку параллельность плоскости полюсов магнита и плоскости пластины не абсолютна, то при их сближении касание дистанерами поверхности пластины происходит не одновременно, а в некоторой последовательности. Непараллельность (относительный наклон) изначально присутствует из-за естественных неточностей изготовления конструкции и узла крепления стальной пластины к динамометрической штанге. Это порождает неоднородный характер продольного распределения пондеромоторных сил в пластине.

При сближении магнита с пластиной возрастают пондеромоторные силы, приводящие к увеличению упругих деформаций, как в узле крепления так и в самой пластине, вследствие чего исходный угол наклона будет только расти. На рисунке 8, для наглядности, показаны характерные фазы взаимодействия магнита с пластиной при их сближении. Наклон и характер распределение плотности пондеромоторных сил вдоль пластины (Рис. 8а, б) связан с обратной зависимостью пондеромоторной силы от локальной величины зазора.

При приближении магнита к стальной пластине интегральная пондеромоторная сила, тянущая ее вниз, монотонно увеличивается, что фиксирует измеряющий динамометр. После первого касания поверхности стальной пластины одним из дистанеров в кривой характера показаний динамометра проявляется «излом», вызванный реакцией опоры от первого коснувшегося дистанера. Угол наклона пластины относительно магнита в этот момент будет максимальным. Дальнейшее сближение пластины и магнита будет приводить к росту реакции опоры, дальнейшему увеличению интегральной пондеромоторной силы и снижению относительного угла наклона пластины вплоть до момента касания пластины остальными дистанерами (Рис. 8в). В этот момент сумма реакций опор контактирующих дистанеров сравняется с интегральной пондеромоторной силой и динамометр, связанный с пластиной, покажет ноль действующей на пластину и на него силы. Дальнейшая попытка подъема траверсы с магнитом приводит к росту реакций опор без изменения пондеромоторной силы и изменению знака измеряемой динамометром силы.

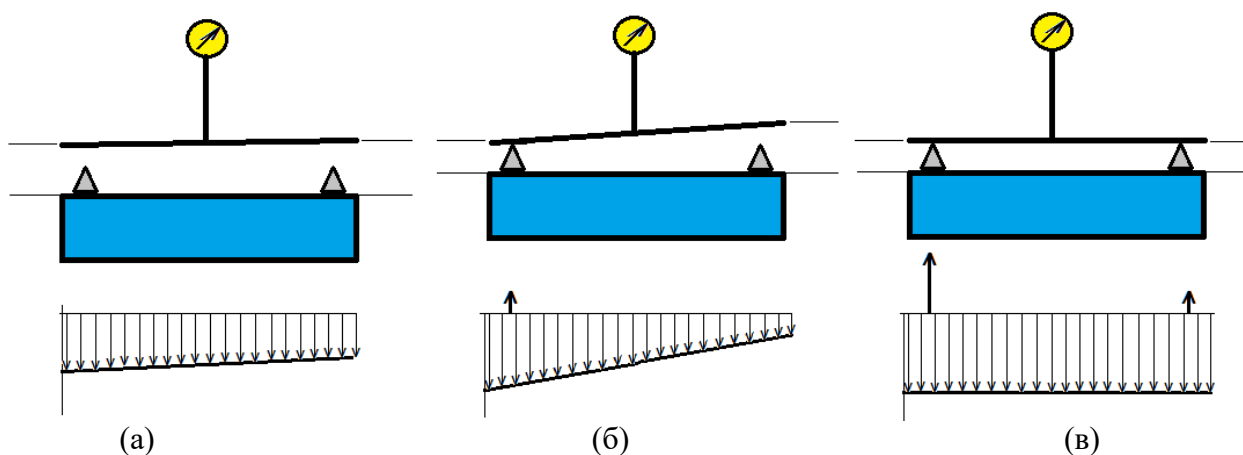


Рис. 8. Взаимодействие магнита и стальной пластины при сближении. Эпюры отражают изменения в распределении пондеромоторных сил вдоль пластины на разных этапах сближения ее и магнита.

(а) – неоднородность распределения пондеромоторных сил вследствие наклона и изгиба пластины; (б) – появление реакции опоры; (в) – под действием реакций опор пластина выставляется параллельно полюсам, пондеромоторные силы распределены равномерно

При обратном движении траверсы с закрепленным магнитом вниз (в сторону увеличение зазора) наблюдается «гистерезис» в характере изменения угла наклона пластины и пондеромоторных сил. «Отрыв» последнего дистанера может происходить при меньшем угле наклона, чем тот который был в момент касания при подъеме траверсы. Наличие такого гистерезисного проявления в угле наклона пластины при касании ее дистанером и при отрыве было подтверждено косвенными измерениями с помощью штангенциркуля.

Фиксация силы соответствующей высоте дистанера производилась по моменту ее отрыва от пластины. Момент отрыва определялся по характерному максимуму силы, наблюдаемому при опускании траверсы. При сравнении вариантов с параллельным и не параллельным относительным расположением плоскостей пластины и полюсов магнита (углы наклона $< 0,3$ град) следует отметить, что интегральная пондеромоторная сила в обоих случаях будет одинакова, если фиксированный зазор в первом случае будет равен средней величине зазора во втором случае. Таким образом, хотя и использовались калиброванные дистанеры, истинные величины зазоров отличались от них в большую сторону.

На Рис. 9, для сравнения, приведены результаты электромагнитных расчетов и натурных измерений сил притяжения пластины к магниту, выполненных в АО «НИИЭФА».

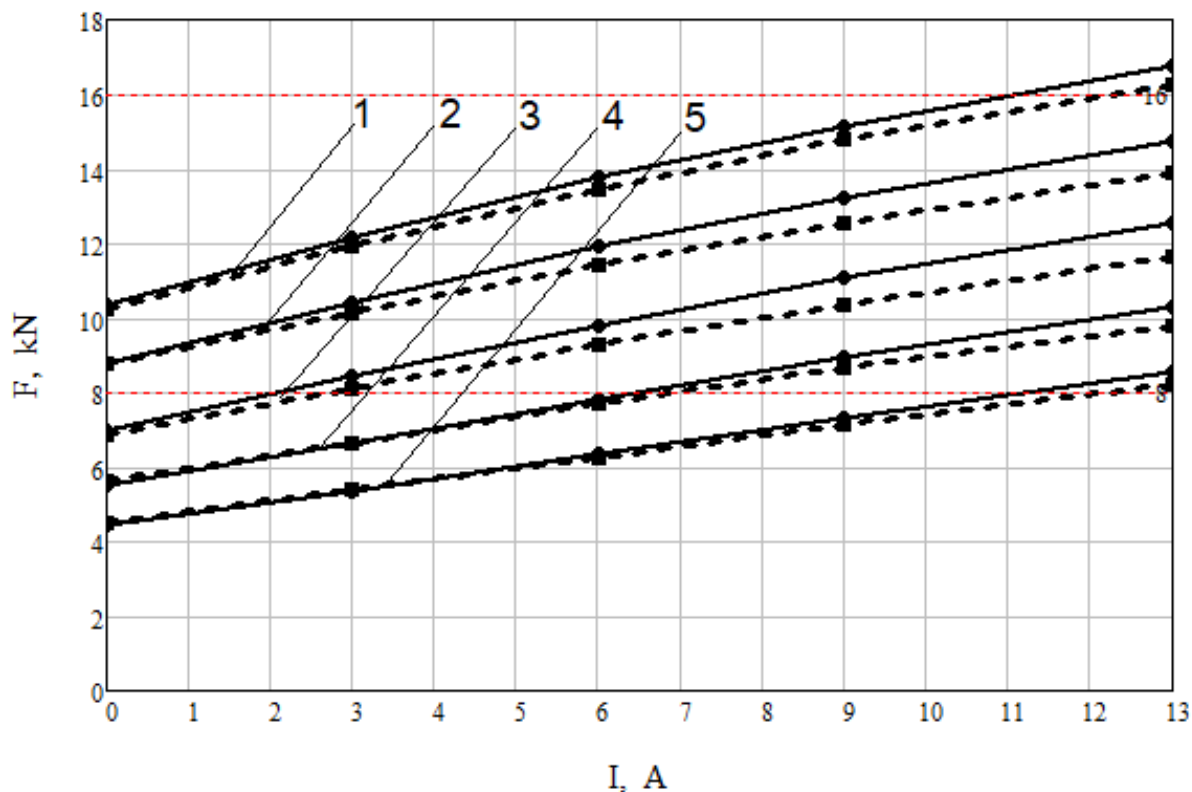


Рис. 9. Сравнение величин пондеромоторной силы гибридного магнита АО «НИИЭФА», полученных методом математического моделирования (сплошные линии) и прямыми физическими измерениями с помощью испытательной машины 1958У-10-1 (штриховые линии) для стальной пластины толщиной 18 мм при разных зазорах:
1 – $h = 4.6$ мм, 2 – $h = 5.2$ мм, 3 – $h = 6$ мм, 4 – $h = 7$ мм, 5 – $h = 8$ мм
Точками отмечены фиксированные в эксперименте значения токов

Отличие измеренных и рассчитанных величин пондеромоторных сил разниться не более чем на 7 %. Расхождение между измеренными и рассчитанными величинами, наблюдаемое при нарастании тока, связано с соответствующим увеличением пондеромоторной силы, которая приводит к росту деформации пластины и, следовательно, к увеличению отклонения среднего зазора от высоты дистанера.

На Рис. 10 приведены для сравнения результаты электромагнитных расчетов и физических измерений нормальной к плоскости полюсов магнита компоненты индукции, выполненные в поперечном сечении $z = 0$ магнита на высоте 0,4 мм от поверхности полюсов в отсутствии стальной пластины (одиночно стоящий магнит).

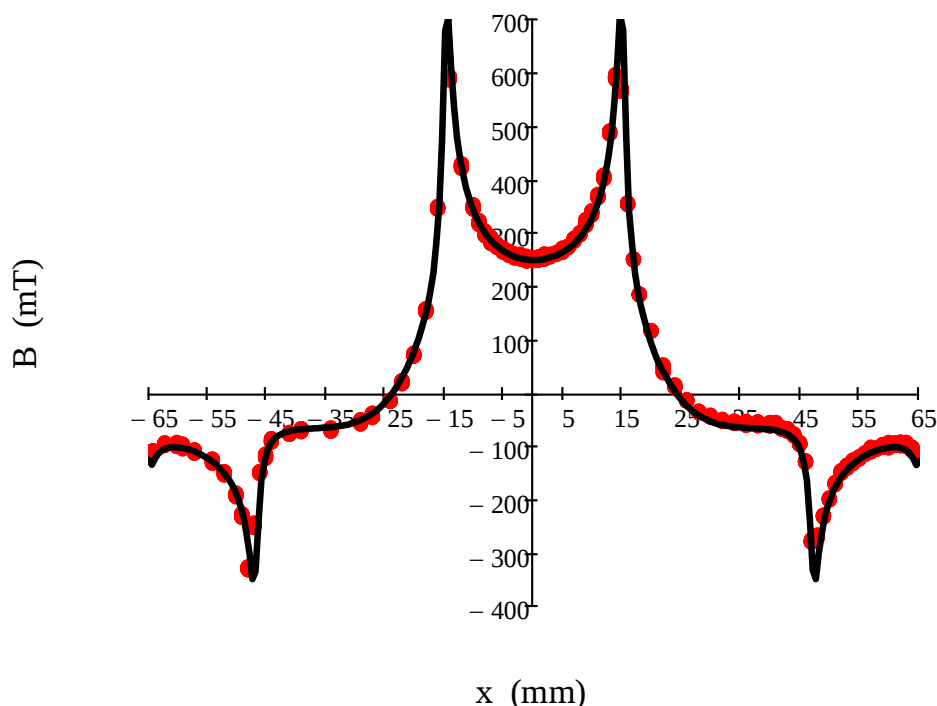


Рис. 10. Вертикальная (нормальная к плоскости полюсов) компонента индукции измеренная (точки) и рассчитанная (линия) на высоте $y = 0,4$ мм от плоскости полюсов в сечении $z = 0$

ВЫВОДЫ

В АО «НИИЭФА» разработан и изготовлен полномасштабный прототип серийного образца гибридного электромагнита подвеса МЛТС. Прототип демонстрирует характерное для ГЭМ пониженное энергопотребление и подтверждает правильность предложенной авторами схемы магнитной системы, отличающейся низким уровнем полей рассеяния.

Измерения электромагнитных сил, создаваемых ГЭМ, проведены на сертифицированном специализированном стенде АО «НИИЭФА». Получено совпадение результатов натурного и численного моделирования с требуемой на практике точностью.

На основании выполненных работ будут подготовлены рекомендации по модернизации стенда, измерительной и технологической оснастки, методике и программе измерений, процедуре выходного контроля серийных магнитов.

Натурный эксперимент продемонстрировал необходимость решения совместной задачи для моделирования электромагнитного поля, пондеромоторных сил, напряженно-деформированного и теплового состояния всей магнитной системы подвеса, включая собственно ГЭМ, устанавливаемые на экипаже, и путевую структуру в виде ферромагнитной направляющей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной поддержке Фонда Академика Василия Андреевича Глухих.

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. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники. Теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003. 206 с. [Zhuravljov JuN. Aktivnye magnitnye podshipniki. Teoriya, raschyot, primeneniye. SPb: Politehnika, 2003. 206 s. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 27.10.2021. Доступно по: https://www.studmed.ru/zhuravlev-yun-aktivnye-magnitnye-podshipniki-teoriya-raschet-primeneniye-2003_ae0c7437419.html
2. Tzeng YK, Wang TC. Optimal design of the electromagnetic levitation with permanent and electro magnets. *IEEE Transaction on Magnetism*. 1994;30(6):4731-733. doi: 10.1109/20.334204
3. Onuki T, Toda Y. Optimal Design of Hybrid Magnet in Maglev System with Both Permanent and Electro Magnets. *IEEE Transaction on Magnetism*. 1993;29(2):1783-1786. doi: 10.1109/20.250751
4. Kim K, Han H, Kim C, Yang S. Dynamic Analysis of a Maglev Conveyor Using an EM-PM Hybrid Magnet. *Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2013;8(6):1571-1578. doi: 10.5370/JEET.2013.8.6.1571
5. Kim C-H, Cho H-W, Lee J-M, et al. Zero-power control of magnetic levitation vehicles with permanent magnets. *ICCAS 2010: Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems*; 2010 Oct 27-30; Gyeonggi-do, Korea (South). 2010. p. 732-735. doi: 10.1109/ICCAS.2010.5670118
6. Safaei F, Suratgar AA, Afshar A, et al. Characteristics Optimization of the Maglev Train Hybrid Suspension System Using Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2015;30(3):1163-1170. doi: 10.1109/tec.2014.2388155
7. Erkan K, Okur B, Koseki T, et al. Experimental evaluation of zero-power levitation control by transfer function approach for a 4-pole hybrid electromagnet. In: *Proceeding of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics*; 2011 April 13-15; Istanbul, Turkey. 2011. p. 23-28, doi: 10.1109/ICMECH.2011.5971299
8. Morishita M, Azukizawa T, Kanda S, et al. A new MAGLEV system for magnetically levitated carrier system. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1989;38(4):230-236. doi: 10.1109/25.45486
9. Wang TC, Tzeng YK. A new electromagnetic levitation system for rapid transit and high speed transportation. *IEEE Transactions on Magnetism*. 1994;30(6):4734-4736. doi: 10.1109/20.334205
10. Патент РФ на изобретение № RU2739939/ 30.12.2020. Бюл. № 1. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.В., Васильев В.Н., Кухтин В.П., Капаркова М.В., Ламзин Е.А., Ларионов М.С., Неженцев А.Н., Родин И.Ю.,

- Сычевский С.Е., Фирсов А.А., Шатиль Н.А. «Гибридный электромагнит для системы маглев». [Pat. RUS № RU2739939/ 30.12.2020. Byul. № 1. Amoskov V.M., Arslanova D.N., Belov A.V., et al. "Gibridnyj jelektromagnit dlya sistemy maglev". (In Russ.)]. Дата обращения: 27.10.2021. Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2739939C1>
11. Патент РФ на изобретение № RU2743753/ 25.02.2021. Бюл. № 6. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Белов А.В., Васильев В.Н., Кухтин В.П., Капаркова М.В., Ламзин Е.А., Ларионов М.С., Неженцев А.Н., Родин И.Ю., Сычевский С.Е., Фирсов А.А., Шатиль Н.А. «Гибридный магнит без полей рассеяния для системы маглев». [Pat. RUS № RU2743753/ 25.02.2021. Byul. № 6. Amoskov V.M., Arslanova D.N., Belov A.V., et al. "Gibridnyj magnit bez poley rassejaniya dlya sistemy maglev". (In Russ.)]. Дата обращения: 27.10.2021. Режим доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2743753C1>
 12. Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Simulation of electrodynamic suspension systems for levitating vehicles. I. Modelling of electromagnetic behaviour of maglev vehicles with electrodynamic suspension. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes.* 2014;4:5-15.
 13. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Базаров А.М. и др. Численное моделирование электродинамических подвесов левитационных транспортных систем. II. Верификация вычислительных моделей // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2015. – Сер. 10. – Вып. 2. – С. 18-32. [Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Simulation of electrodynamic suspension systems for levitating vehicles. II. Validation of computational models. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes.* 2015;2:18-32. (In Russ.)].
 14. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Базаров А.М. и др. Численное моделирование электродинамических подвесов левитационных транспортных систем. III. ЭДП с непрерывной путевой структурой // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2015. – Сер. 10. – Вып. 3. – С. 4–21. [Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Simulation of electrodynamic suspension systems for levitating vehicles. III. Continuous track systems. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes.* 2015;3:4-21. (In Russ.)].
 15. Амосков В.М., Арсланова Д.Н., Базаров А.М. и др. Численное моделирование электродинамических подвесов левитационных транспортных систем. IV. ЭДП с дискретной путевой структурой // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2016. – Сер. 10. – Вып. 3. – С. 4–17. [Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Simulation of electrodynamic suspension systems for levitating vehicles. IV. Discrete track systems. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes.* 2016;3:4-17 (In Russ.)]. doi: 10.21638/11701/spbu10.2016.301
 16. Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Simulations of maglev EDS performance with detailed numerical models. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series Applied mathematics. Computer science. Control processes.* 2018;14(4):286-301. doi: 10.21638/11702/spbu10.2018.402
 17. Amoskov VM, Arslanova DN, Bazarov AM, et al. Modeling EMS maglev systems to develop control algorithms. *Cybernetics and physics.* 2018;7(1):11-17. doi: 10.35470/2226-4116-2018-7-1-11-17

18. Andreev EN, Arslanova DN, Akhmetzyanova EV, et al. Combined electromagnetic suspensions with reduced energy consumption for levitation vehicles. *Technical Physics*. 2019;64(7):1060-1065. doi: 10.1134/S1063784219070041
19. Amoskov VM, Belov AV, Belyakov VA, et al. Computation technology based on KOMPOT and KLONDIKE codes for magnetostatic simulations in tokamaks. *Plasma Devices and Operations*. 2008;16(2):89-103. doi: 10.1080/10519990802018023
20. Суханова М.В., Гаврилов С.В., Акулицкий С.Г. и др. Механические испытания электрической изоляции катушки PF 1 при температуре 77K // Тезисы докладов III Национальной конференции по прикладной сверхпроводимости НКПС-2015. 25-26 ноября 2015; НИЦ «Курчатовский институт», Москва: Курчатовский ин-т, 2015. – 127 с. [Suhanova MV, Gavrilov SV, Akulickij SG, et al. Mehanicheskie ispytaniya jelektricheskoy izoljacji katushki PF 1 pri temperature 77K. In: Tezisy dokladov III Nacional'noj konferencii po prikladnoj sverhprovodimosti NKPS-2015. 2015 Nov 25-26, Moscow, Kurchatov Inst. Moscow: NRCKI; 2015. p.127 (In Russ.)].

Сведения об авторах:**Акулицкий Сергей Георгиевич;**

eLibrary SPIN: 1738-3510; ORCID: 0000-0001-8659-2243;

E-mail: akulickiy@sintez.niiefa.spb.su

Амосков Виктор Михайлович, к.ф.-м.н.;

eLibrary SPIN: 2436-3828; ORCID: 0000-0001-9781-9116;

Scopus ID: 6701846033;

E-mail: amoskov-sci@yandex.ru

Арсланова Дарья Николаевна, магистр;

eLibrary SPIN: 3234-8141; ORCID: 0000-0002-3791-723X;

Scopus ID: 55314279800;

E-mail: arslanova-sci@yandex.ru

Белов Андрей Александрович, магистр;

ORCID: 0000-0001-7040-6741;

E-mail: avm@sintez.niiefa.spb.su

Васильев Вячеслав Николаевич;

eLibrary SPIN: 5444-8639; ORCID: 0000-0002-1218-6274;

Scopus ID: 7005989574;

E-mail: vvm@mail.ru

Гаврилов Сергей Васильевич;

ORCID: 0000-0002-8886-6989;

E-mail: gavrilovsv@sintez.niiefa.spb.su

Деомидов Валерий Викторович, магистр;

ORCID: 0000-0003-2795-8342;

E-mail: deomidov@icloud.com

Зайцев Анатолий Александрович, д.э.н.;

eLibrary SPIN: 9477-4316; ORCID: 0000-0002-1342-8036;

Scopus ID: 57199509604;

E-mail: nospp@pgups.ru

Капаркова Марина Викторовна;

eLibrary SPIN: 6881-2266; ORCID: 0000-0002-3489-5581;

Scopus ID: 12445243900;

E-mail: kaparkova-sci@yandex.ru

Коротков Роман Владимирович; магистр;
eLibrary SPIN: 6137-1024 ORCID: 0000-0001-6161-7184
E-mail: roman.korotkov@sintez.niiefa.spb.su

Кухтин Владимир Петрович, к.ф.-м.н.;
eLibrary SPIN: 1628-3135; ORCID: 0000-0001-6925-6141;
Scopus ID: 35353250700;
E-mail: kukhtin-sci@yandex.ru

Лабусов Алексей Николаевич, к.ф.-м.н.;
eLibrary SPIN: 4734-7358; ORCID: 0000-0003-2264-677X;
E-mail: labusov@sintez.niiefa.spb.su

Ламзин Евгений Анатольевич, д.ф.-м.н.;
eLibrary SPIN: 8287-7879; ORCID: 0000-0002-6072-5711;
Scopus ID: 12756829300;
E-mail: lamzin-sci@yandex.ru

Ларионов Михаил Сергеевич;
ORCID: 0000-0002-8570-7210; Scopus ID: 36443801800;
E-mail: larionov-sci@yandex.ru

Маханьков Николай Алексеевич, магистр;
eLibrary SPIN: 2463-8007; ORCID: 0000-0002-9264-0296;
E-mail: makhankovna@sintez.niiefa.spb.su

Неженцев Андрей Николаевич;
eLibrary SPIN: 7319-8924; ORCID: 0000-0002-8724-7211;
Scopus ID: 57201374326;
E-mail: nezhentzev-sci@yandex.ru

Овсянников Дмитрий Александрович, магистр;
eLibrary SPIN: 5657-4707; ORCID: 0000-0003-4191-8494
E-mail: d-ovs@yandex.ru

Родин Игорь Юрьевич, к.ф.-м.н.;
eLibrary SPIN: 4935-6473; ScopusID: 7005063976;
E-mail: rodin@sintez.niiefa.spb.su

Сычевский Сергей Евгеньевич, д.ф.-м.н.;
eLibrary SPIN: 3073-0334; ORCID: 0000-0003-1527-4015;
Scopus ID: 6602159085;
E-mail: sytch-sie@yandex.ru

Суханова Мария Владимировна, к.т.н.;
ORCID: 0000-0001-9449-8708; ScopusID: 7003295498;
E-mail: suhanova@sintez.niiefa.spb.su

Шатиль Николай Александрович, к.т.н.;
eLibrary SPIN: 2818-0206; ORCID: 0000-0001-8529-130X;
Scopus ID: 6507475131;
E-mail: shatiln@yandex.ru

Шкулепа Александр Анатольевич;
ORCID: 0000-0002-3450-6662;
E-mail: shkulepa@sintez.niiefa.spb.su

Фирсов Алексей Анатольевич;
eLibrary SPIN: 7943-4297; ORCID: 0000-0002-7846-8717;
Scopus ID: 56069602000;
E-mail: firsov-sci@yandex.ru

Information about the authors:**Sergey G. Akulitzky,**

eLibrary SPIN: 1738-3510; ORCID: 0000-0001-8659-2243;

E-mail: akulitckiy@sintez.niiefa.spb.su

Victor M. Amoskov, PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 2436-3828; ORCID: 0000-0001-9781-9116;

Scopus ID: 6701846033;

E-mail: amoskov-sci@yandex.ru

Darya N. Arslanova, MSc;

eLibrary SPIN: 3234-8141; ORCID: 0000-0002-3791-723X;

Scopus ID: 55314279800;

E-mail: arslanova-sci@yandex.ru

Andrei A. Belov, MSc;

ORCID: 0000-0001-7040-6741;

E-mail: avm@sintez.niiefa.spb.su

Vyacheslav N. Vasiliev, MSc;

eLibrary SPIN: 5444-8639; ORCID: 0000-0002-1218-6274;

Scopus ID: 7005989574;

E-mail: vvnm@mail.ru

Sergey V. Gavrilov;

ORCID: 0000-0002-8886-6989;

E-mail: gavrilovsv@sintez.niiefa.spb.su

Valery V. Deomidov, MSc;

ORCID: 0000-0003-2795-8342 ;

E-mail: deomidov@icloud.com

Anatoly A. Zaytzev, PhD, DSc in Economics;

eLibrary SPIN: 9477-4316 ORCID: 0000-0002-1342-8036;

Scopus ID: 57199509604;

E-mail: nocpp@pgups.ru

Marina V. Kaparkova, MSc;

eLibrary SPIN: 6881-2266; ORCID: 0000-0002-3489-5581;

Scopus ID: 12445243900;

E-mail: kaparkova-sci@yandex.ru

Roman V. Korotkov, MSc;

eLibrary SPIN: 6137-1024 ORCID: 0000-0001-6161-7184

E-mail: roman.korotkov@sintez.niiefa.spb.su

Vladimir P. Kukhtin, PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 1628-3135; ORCID: 0000-0001-6925-6141;

Scopus ID: 35353250700;

E-mail: kukhtin-sci@yandex.ru

Alexey N. Labusov, PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 4734-7358; ORCID: 0000-0003-2264-677X;

E-mail: labusov@sintez.niiefa.spb.su

Evgeny A. Lamzin, PhD, DSc in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 8287-7879; ORCID: 0000-0002-6072-5711;

Scopus ID: 12756829300;

E-mail: lamzin-sci@yandex.ru

Mikhail S. Larionov, MSc;

ORCID: 0000-0002-8570-7210; Scopus ID: 36443801800;

E-mail: larionov-sci@yandex.ru

Nicolai A. Makhankov, MSc;

eLibrary SPIN: 2463-8007; ORCID: 0000-0002-9264-0296;

E-mail: makhankovna@sintez.niiefa.spb.su

Andrey N. Nezhentzev, MSc;

eLibrary SPIN: 7319-8924; ORCID: 0000-0002-8724-7211;

Scopus ID: 57201374326;

E-mail: nezhentzev-sci@yandex.ru

Dmitry A. Ovsyannikov, MSc;

eLibrary SPIN: 5657-4707; ORCID: 0000-0003-4191-8494

E-mail: d-ovs@yandex.ru

Igor Yu. Rodin, PhD in Physics and Mathematics;

eLibrary SPIN: 4935-6473; Scopus ID: 7005063976;

E-mail: rodin@sintez.niiefa.spb.su

Nicolai A. Shatil, MSc, PhD in Engineering;

eLibrary SPIN: 2818-0206; ORCID: 0000-0001-8529-130X;

Scopus ID: 6507475131;

E-mail: shatiln@yandex.ru

Alexander A. Shkulepa;

ORCID: 0000-0002-3450-6662;

E-mail: shkulepa@sintez.niiefa.spb.su

Maria V. Sukhanova, PhD in Engineering;

ORCID: 0000-0001-9449-8708; Scopus ID: 7003295498;

E-mail: suhanova@sintez.niiefa.spb.su

Sergey E. Sytchevsky, DSc in Physics and Mathematics, Full Professor;

eLibrary SPIN: 3073-0334; ORCID: 0000-0003-1527-4015;

Scopus ID: 6602159085;

E-mail: sytch-sie@yandex.ru

Alexey A. Firsov, MSc;

eLibrary SPIN: 7943-4297; ORCID: 0000-0002-7846-8717;

Scopus ID: 56069602000;

E-mail: firsov-sci@yandex.ru

Цитировать:

Акулицкий С.Г., Амосков В.М., Арсланова Д.Н. и др. Результаты стендовых испытаний прототипа полномасштабного гибридного электромагнита для систем маглев // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 14–32. doi: 10.17816/transsyst20207414-32

To cite this article:

Akulitzky SG, Amoskov VM, Arslanova DN, et al. Bench testing of hybrid EMS prototype. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):14-32. doi: 10.17816/transsyst20217414-32

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехнические комплексы и системы

УДК [UDC] 621.3:658.274

DOI 10.17816/transsyst20217433-42

© Ч. З. Хтай, В. А. Глушенков, В. Г. Комаров
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(Москва, Россия)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛТРО ДЛЯ МЬЯНМЫ

Обоснование: Разработка и исследование применимости различных математических моделей для расчета солнечной радиации компонентов является актуальной задачей для инновационной транспортной системы ЭЛТРО Мьянмы.

Цель: Определение суточного баланса энергии, генерируемой солнечными панелями для выполнения заданной работы транспортной системы.

Материалы и методы: Разработано математическое, алгоритмическое и программное обеспечение (на основе языка Python) для энергообеспечения и создания интерактивных геоинформационных моделей для транспортной системы ЭЛТРО.

Результаты: Для оценки солнечных ресурсов в точке с координатами ($\varphi = 19,76^\circ$ с. ш.; $\psi = 96,07^\circ$ в. д.) были использованы данные баз данных (БД) «NASA», «Meteonorm» и ГМС Мьянмы и проведено их сравнение с фактическими данными по БД ГМС Мьянмы с целью определения достоверности, представленной в них информации.

Заключение: Полученные результаты позволили определить структуру системы солнечного энергообеспечения и параметры типовых солнечных энергомодулей, обеспечивающих энергообеспечение не только транспортной системы, но и прилегающих территорий.

Ключевые слова: многофункциональная транспортная система, солнечная энергия, интерактивная геоинформационная модель, электроснабжение транспорта.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical complexes and systems

© Th. Z. Htay, V. A. Glushenkov, V. G. Komarov
National Research University “MPEI”
(Moscow, Russia)

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING SOLAR ENERGY FOR THE ENERGY SUPPLY OF THE INNOVATIVE ELTRO TRANSPORT SYSTEM FOR MYANMAR

Background: The development and research of the applicability of various mathematical models for calculating the solar radiation of companies is an urgent task for the innovative transport system of Myanmar.

Aim: Determination of the daily balance of energy generated by solar panels to perform a given operation of the transport system.

Materials and methods: Mathematical, algorithmic and software (based on the Python language) have been developed for energy supply and creation of interactive geo-information models for the ELTRO transport system.

Results: To estimate solar resources at a point with coordinates ($\varphi = 19.76^\circ$ s. w.; $\psi = 96.07^\circ$ w. d.), data from the databases "NASA", "Meteonorm" and the Myanmar GMS were used and compared with the actual data on the Myanmar GMS database in order to determine the reliability of the information presented in them.

Conclusion: The results obtained made it possible to determine the structure of the solar energy supply system and the parameters of typical solar energy modules that provide energy supply not only to the transport system, but also to the adjacent territories.

Key words: multifunctional transport system, solar energy, interactive geo-information model, power supply of transport.

ВВЕДЕНИЕ

С целью создания надежной и эффективной транспортной системы для Мьянмы был проведен анализ современного состояния транспортных технологий, удовлетворяющих специфическим требованиям и условиям эксплуатации Мьянмы. В Мьянме не хватает традиционных источников энергии и электростанций. Солнечная радиация (СР) зависит, главным образом, от широты местности, т.е., на экваторе она принимает наибольшую величину, убывающую к полюсам. Мьянма находится недалеко от экватора, в связи с этим страна располагает огромными ресурсами солнечной энергии (СЭ). По современным данным валовые ресурсы солнечной энергии Мьянмы составляют 1,15 млн. ТВт.ч в год. Среднегодовой приход СР составляет приблизительно 5 кВт.ч/м^2 в сутки. Это намного выше, чем, например, в странах ЕС-27, где сегодня интенсивно используется солнечная энергетика [1–6].

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛТРО» МЬЯНМЫ

Суточный приход СР на горизонтальную приемную площадку (ПП) колеблется от 3,5 до 6 кВт.ч/м^2 в зависимости от широты местности и времени года. Уровни СР демонстрируют также сезонные колебания. Например, на широте в 21 градус приход СР составляет в марте 6 кВт.ч/м^2 в день, а в августе $4,13 \text{ кВт.ч/м}^2$ в день. Обширный центральный регион Мьянмы, где находится наибольшая часть потребителей электроэнергии

является самым лучшим местом для использования СЭ. В таблице показан суточный приход СР на горизонтальную ПП по всей территории Мьянмы.

В последние годы стоимость солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) резко снижается, в то время как их КПД резко повышается. Так по данным NREL (National Renewable Energy Laboratory) с конца 70-х годов 20-го века по настоящее время КПД СЭ вырос с (0,5–13,0) % до (22–47) %, а цена солнечных модулей с 80-х годов прошлого столетия снизилась в 100 раз. В связи с этим использование СЭ является наилучшим решением для обеспечения ЭЭ транспортных систем.

В Табл. представлены среднемноголетние месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке БД «NASA» и БД «Meteonorm», а также показана среднемесячная доля диффузной составляющей солнечной радиации от суммарной.

Все графики (Рис. 1–7) созданы трехмерные формы с помощью языка Python. Принимаем в качестве оптимального угол β наклона солнечных панелей равным 23° [1–8].

Таблица. Среднемноголетние значения энергии суммарной и диффузной солнечной радиации

Мес	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
$\mathcal{E}_{\text{кВт}^* \text{ч/м}^2 \cdot \text{мес}}^{\text{Г}}_{\text{у}}$	158,41	160,44	193,13	193,5	181,35	148,5	142,29	137,33	136,5	143,3	134,7	144,46	1874,14
$\mathcal{E}_{\text{кВт}^* \text{ч/м}^2 \cdot \text{мес}}^{\text{Г}}_{\text{д}}$	29,76	33,88	49,29	58,8	72,54	73,8	75,95	72,85	63,6	53,94	40,2	31,0	655,61
$\mathcal{E}_{\text{д}}^{\text{Г}} \text{ от } \mathcal{E}_{\Sigma}^{\text{Г}}, \%$	18,78	21,11	25,52	30,38	40,0	49,68	53,37	53,04	46,59	37,58	29,84	21,45	35,61

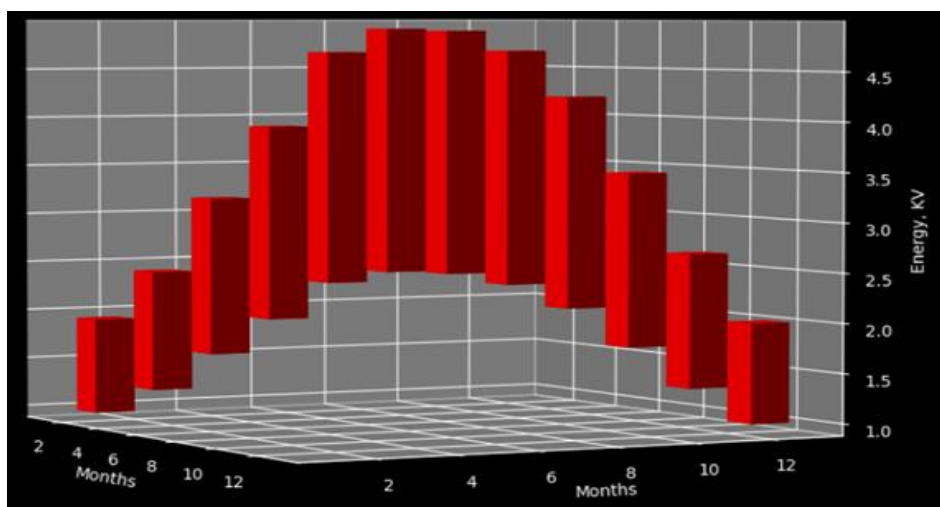


Рис. 1. Среднемноголетние суточные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

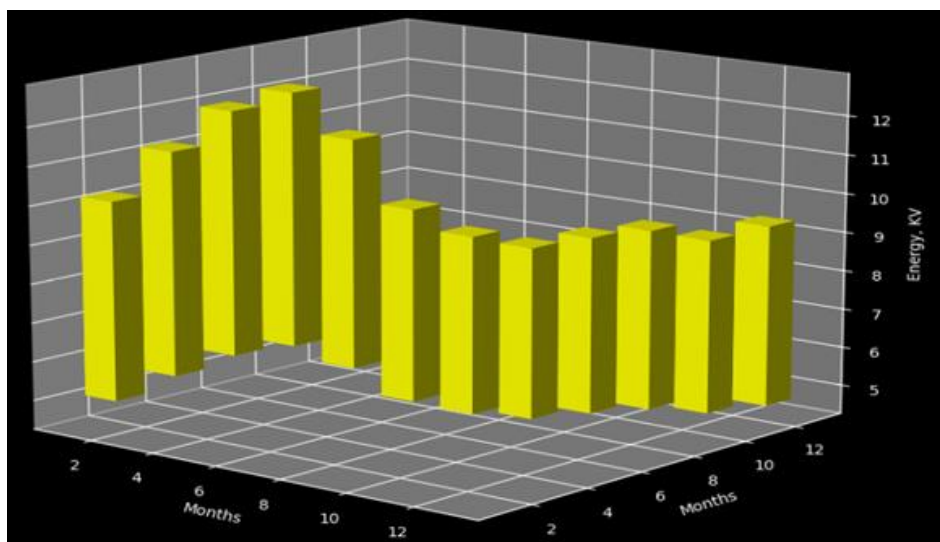


Рис. 2. Среднегодовые суточные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

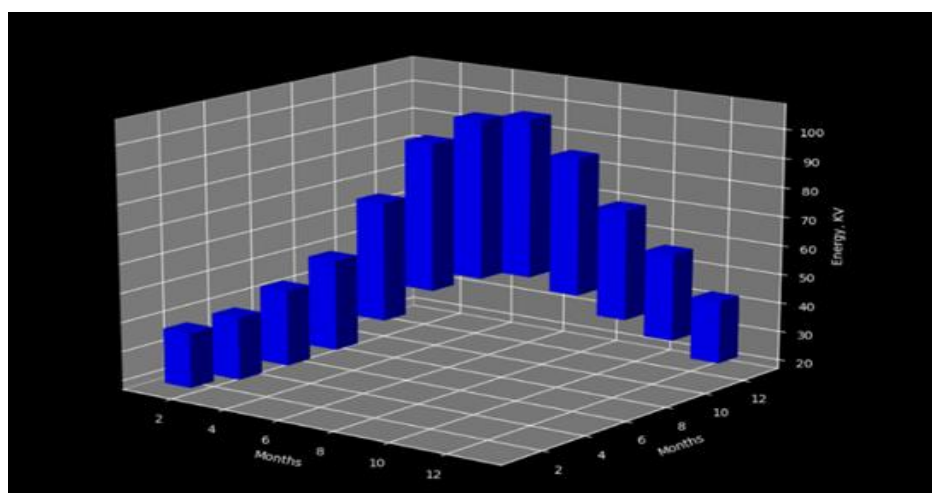


Рис. 3. Среднегодовые суточные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

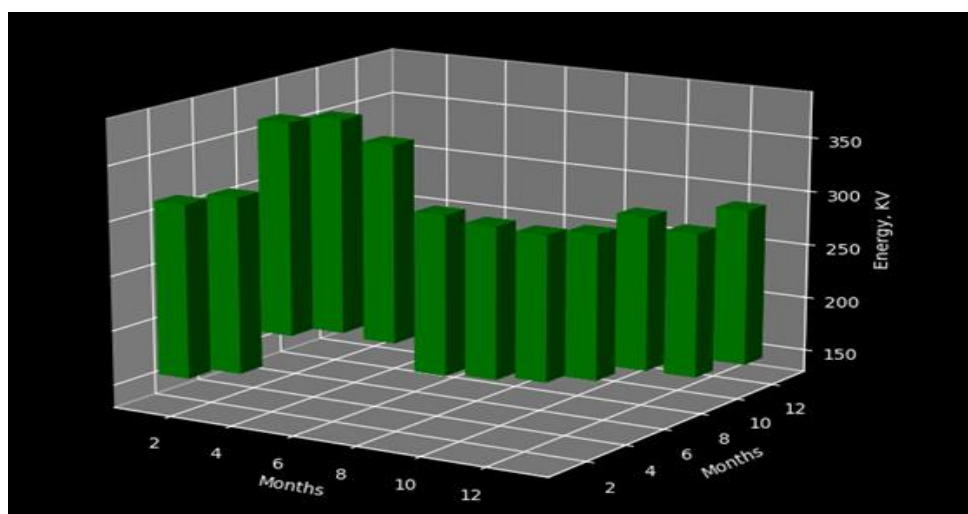


Рис. 4. Среднегодовые месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

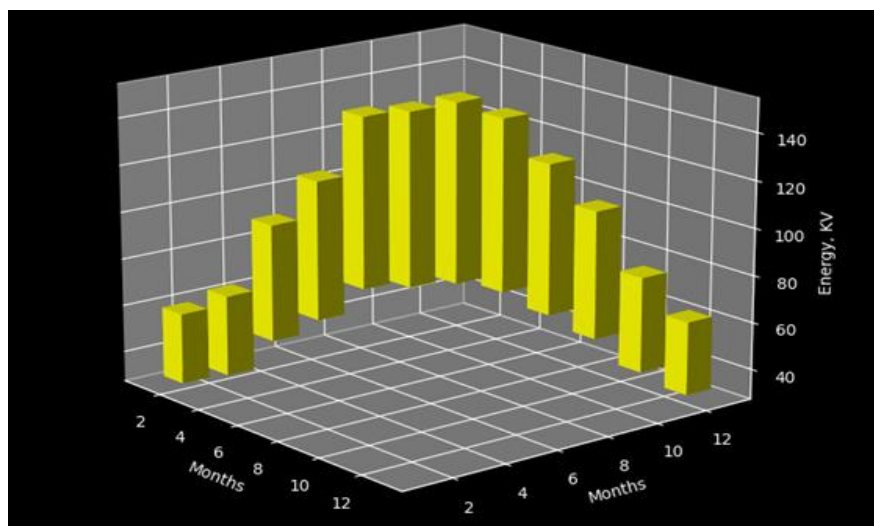


Рис. 5. Среднеголетние месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

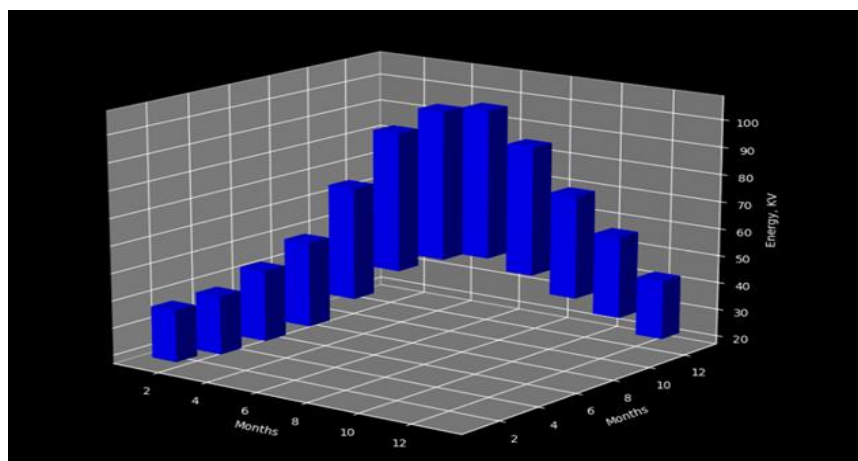


Рис. 6. Среднеголетние месячные значения суммарной и диффузной солнечной радиации в точке АП по БД «NASA»

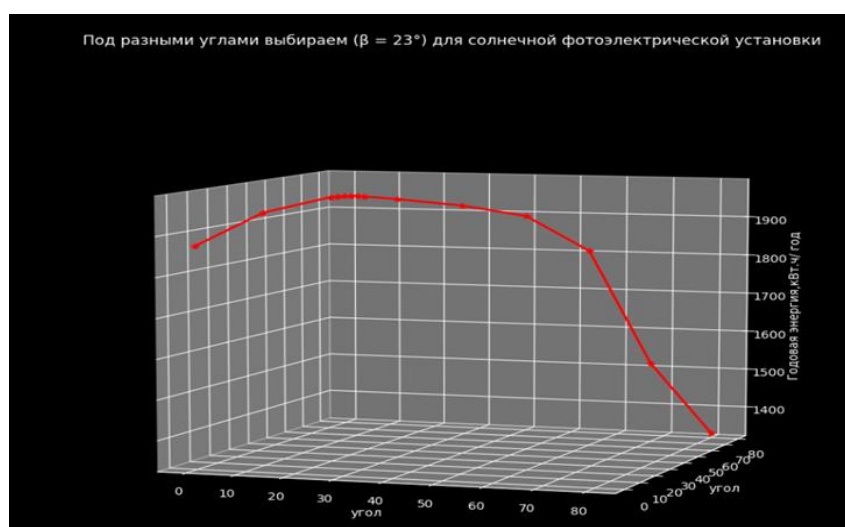


Рис. 7. Расчет прихода солнечной радиации на площадку под разными углами выбираем ($\beta = 23^\circ$) для солнечной фотоэлектрической установки

ЭЛТРО является с высокой энергоэффективностью мультифункциональной магнитолевитационной транспортной системы с использованием солнечной энергии. Система «ЭЛТРО» позволяет в условиях Республики Мьянмы использовать в качестве основного энергоисточника системы солнечную энергию. ЭЛТРО – это инновационная технологическая платформа для перехода на качественно новый уровень обслуживания, соответствующий современному укладу общественного развития. Эта платформа объединяет различные эффективные технические и организационные решения в области электротехники, машиностроения, управления информацией, компьютерных и сетевых технологий.

Высокая энергоэффективности мультифункциональной магнитолевитационной транспортной системы «ЭЛТРО» позволяет в условиях Республики Мьянма использовать в качестве основного энергоисточника системы солнечную энергию. Для решения этой сложной научно-технической задачи используется соответствующее программное обеспечение поддержки этапов жизненного цикла системы. Такая поддержка и компьютерное сопровождение получили название CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support).

Прежде всего, для этой транспортной системы мы создаем интерактивную геоинформационную модель и визуализацию геопространственных данных с помощью JupyterNotebook на основе языка Python. При работе с геопространственными данными в Python, будь то геодезическая рамка, географические координаты, список стран или почтовых индексов, обычно полезно визуализировать эти данные на карте. Для этого есть много доступных библиотек, которые могут быть реализованы в Python. Некоторые из этих библиотек инструментов включают в себя: Folium, ipyleaflet, Pyplot, CARTO, Mapbox, QGIS и ArcGIS. При выборе библиотеки визуализации геопространственных данных необходимо учитывать некоторые факторы, например, тип карт или требования с точки зрения настройки и интерактивности. Для создания интерактивной картографической модели и визуализации геопространственных данных может быть использована библиотека ipyleaflet. Она построена на базе ipywidgets и обеспечивает двунаправленную связь между графическим интерфейсом и бэкэндом, что позволяет использовать карту для захвата пользовательского ввода [9–11].

В данной работе рассматривается вопрос энергопотребления инновационной транспортной системы (в дальнейшем точке) расположенного в центральной части Мьянмы в городе Нейпидо. Местоположение показано на Рис. 9. Место расположен в точке с координатами: $19,76^{\circ}$ с.ш. и $96,07^{\circ}$ в.д [9–15].

Нейпидо столица Мьянмы с населением около 2,5 млн жителей. Каждый день до 1 млн жителей города используют автобусы в качестве основного городского транспорта.

Проектируемая линия системы ЭЛТРО в городе Нейпидо (кольцевой участок) предназначена для обслуживания населенных пунктов средней части Нейпидо.

В пилотном проекте предусматривается:

- кольцевая магистральная линия двуполуправленного безостановочного движения;
- локальные пути с остановочными пунктами;
- кассетные накопительные электродепо;
- интегрированная в путевую структуру распределенная солнечная электростанция;
- контейнерные тяговые подстанции с буферными накопителями энергии, интегрированные в остановочные пункты.

Протяженность проектируемой линии составляет ориентировочно 15 км. Предусматривается 15 остановочных пунктов, 2 накопительных электродепо, распределенная система солнечного энергообеспечения с накопителями электроэнергии. Суммарный суточный пассажиропоток в двух направлениях 50 тыс. пассажиров. Среднее расстояние поездки 7,5 км [1, 2].

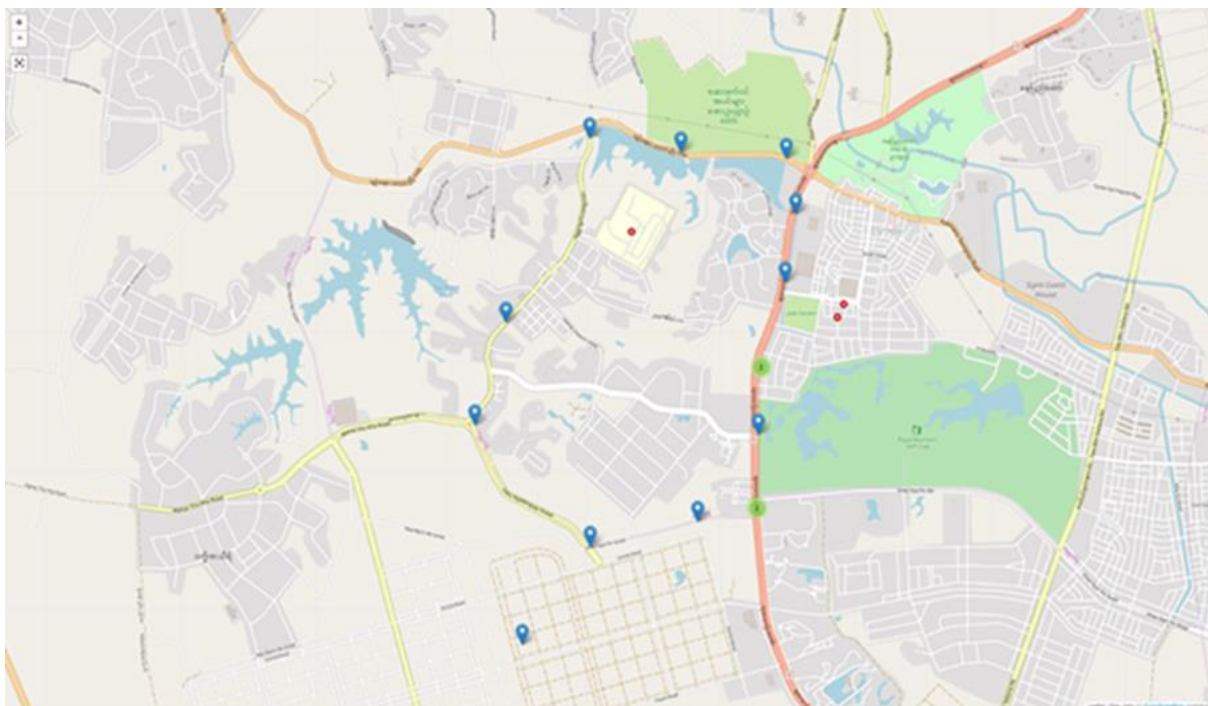


Рис. 8. Отображение 15 станций системы ЭЛТРО, использующих полноэкранную управляющую переменную в ipyleaflet

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы является исследование и определение необходимой мощности для питания транспортного средства, генерируется энергия через солнечные панели, а также регенерированная энергия при торможении транспортного средства и полезные способы эксплуатации вырабатывается энергия для тяги и вспомогательных устройств. Полученные результаты позволили определить структуру системы солнечного энергообеспечения и параметры типовых солнечных энергомодулей, обеспечивающих энергообеспечение не только транспортной системы, но и прилегающих территорий.

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. Htay TZ, Komarov VG, Glushenkov VA. Analysis of the Possibilities of Creating Modern Multi-functional Transport Systems for Myanmar Based on Alternative Energy Sources. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow; 2020. pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059226
2. Leshtayev OV, Stushkina NA, Zaginailov VI, Sergeeva NA. Solar power station model in Matlab Simulink program. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2020, pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059128
3. Moe AS, Glushenkov VA, Komarov VG. Program for energy efficiency analysis of the multifunctional magnetic levitation transport system, ELTRO. 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2021, pp. 1-5. doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388010
4. Лин Аунг Тет, Малинин Н.К, Шестопалова Т.А. Исследование эффективности использования солнечных фотоэлектрических установок в системах распределенной энергетики в регионах Мьянмы // Энергетика. – 2014. – № 5. – С. 36–40. (In Russ.).
5. Ей Вин, Виссарионов В.И. Оптимизация параметров системы энергоснабжения с использованием солнечной энергии для автономного потребителя в Мьянме // Вестник МЭИ. – 2012. – № 5. – С. 42–49. [Ej Vin, Vissarionov VI. Optimizaciya parametrov sistemy energosnabzheniya s ispol'zovaniem solnechnoj energii dlya avtonomnogo potrebitelya v M'yanme. Vestnik MEI. 2012;(5):42-49. (In Russ.)].
6. Лин Аунг Тет. Малинин Н.К. Ресурсы солнечной энергетики и перспективы их использования в системах энергоснабжения автономного потребителя в Мьянме // Седьмая всероссийская научная молодежная школа с международным участием. – М.: МИРОС, 2010. – 424 с. [Lin Aung Tet. Malinin NK. Resursy solnechnoj energetiki i perspektivy ih ispol'zovaniya v

- sistemah energosnabzheniya avtonomnogo potrebitelya v M'yanme. *Sed'maya vserossiyskaya nauchnaya molodezhnaya shkola s mezhdunarodnym uchastiem*. Moscow: MIROS; 2010. 424 p. (In Russ.).
7. Зай Яр Мьинт. Виссарионов В.И. Исследование целесообразности использования ветроэлектрической станции в Мьянме // Вестник МЭИ. – 2013. – № 1. – С. 84–91. [Zaj YAr M'int. Vissarionov VI. Issledovanie celesoobraznosti ispol'zovaniya vetroelektricheskoy stancii v M'yanme. *Vestnik MEI*. 2013;(1):84-91. (In Russ.).]
 8. Виссарионов В.И., Кузнецова В.А., Чан Ньен Аунг Тан. Ресурсы солнечной излучения Мьянмы и его использования // Четвертая международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях». – М., ВВЦ. 2012 г. – С. 523–524. [Vissarionov VI, Kuznecova VA, CHan N'en Aung Tan. Resursy solnechnoj izlucheniya M'yanmy i ego ispol'zovaniya. *Chetvyortaya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah"*. Moscow: VVC; 2012. pp. 523-524. (In Russ.).]
 9. Виссарионов В.И., Чан Ньен Аунг Тан. Использование ресурсов солнечного излучения и оптимизация ориентации приемной площадки солнечного излучения в Республике Мьянмы // Пятая международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях»: М., ВВЦ. 2013 г. – С. 674–675. [Vissarionov VI, Chan N'en Aung Tan. Ispol'zovanie resursov solnechnogo izlucheniya i optimizaciya orientacii priemnoj ploshchadki solnechnogo izlucheniya v Respublike M'yanmy. *Pyataya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah"*. Moscow: VVC. 2013. 674-675. (In Russ.).]
 10. Малинин Н.К., Рыжов А.В. Совершенствование методов расчета ресурсов малой гидроэнергетики // Вестник МЭИ. – 2007. – № 5. – С. 75–79. [Malinin NK, Ryzhov AV. Sovershenstvovanie metodov rascheta resursov maloj gidroenergetiki. *Vestnik MEI*. 2007;(5):75-79. (In Russ.).]
 11. Рахимов А.С. Совершенствование методов расчета ресурсов малой гидроэнергетики Республики Таджикистан с использованием современных информационных технологий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 2012. – 20 с. [Rahimov AS. Sovershenstvovanie metodov raschyota resursov maloj gidroenergetiki Respubliki Tadjhikistan s ispol'zovaniem sovremennyh informacionnyh tekhnologij. *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk*. Moscow, 2012. 20 p. (In Russ.).]
 12. Дорошин А.Н. Исследование эффективности использования комбинированных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук.: 05.14.08. – М., 2011. – 20 с. [Doroshin AN. Issledovanie effektivnosti ispol'zovaniya kombinirovannyh energokompleksov na osnove vozobnovlyaemyh istochnikov energii: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk.: 05.14.08. Moscow, 2011. 20 p. (In Russ.).]
 13. Васьков А.Г. Особенности проектирования энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии в распределенных энергосистемах // Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях: сборник докладов IV Международной научно-практической

конференции. – М.: МГСУ, 2012. – С. 472–474. [Vas"kov AG. Osobennosti proektirovaniya energokompleksov na baze vozobnovlyaemykh istochnikov energii v raspredelyonnykh energosistemah. *Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodyozhi - put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyah: sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moscow: MGSU; 2012. pp. 472-474. (In Russ.)].

14. Patil MS, Shekhawat S. Predicting Solar Insolation Incident on Horizontal Surface for Performance Assessment of Solar Systems. 2021 2nd International Conference on Secure Cyber Computing and Communications (ICSCCC); 2021. pp. 410-414. doi: 10.1109/ICSCCC51823.2021.9478116
15. Вас"ков А.Г. Разработка методики обоснования состава и параметров гибридных энергокомплексов для распределенных энергосистем: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук.: 05.14.08. – М., 2013. – 20 с. [Vas"kov AG. Razrabotka metodiki obosnovaniya sostava i parametrov gibridnykh energokompleksov dlya raspredelyonykh energosistem: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk.: 05.14.08. Moscow, 2013. 20 p. (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Чжо Зин Хтай, аспирант;

eLibrary SPIN:3074-5635; ORCID: 0000-0002-6419-8111;

E-mail: chzhazin@yandex.ru

Глушенков Владимир Александрович, к.т.н., старший научный сотрудник;

eLibrary SPIN:3532-6814; ORCID: 0000-0001-9745-1067;

E-mail: glushenkovva@mpei.ru

Комаров Владимир Георгиевич, к.т.н., старший научный сотрудник;

eLibrary SPIN: 1271-5859; ORCID: 0000-0003-0038-6049;

E-mail: telectric@bk.ru

Information about the authors:

Thaw Zin Htay, Graduate;

eLibrary SPIN:3074-5635; ORCID: 0000-0002-6419-8111;

E-mail: chzhazin@yandex.ru

Vladimir A. Glushenkov, Candidate of Technological sciences, Senior Researcher;

eLibrary SPIN:3532-6814; ORCID: 0000-0001-9745-1067;

E-mail: glushenkovva@mpei.ru

Vladimir G. Komarov, Candidate of Technological science, Senior Researcher;

eLibrary SPIN: 1271-5859; ORCID: 0000-0003-0038-6049;

E-mail: telectric@bk.ru

Цитировать:

Хтай Ч.З., Глушенков В.А., Комаров В.А. Анализ возможности использования солнечной энергии энергообеспечения инновационной транспортной системы ЭЛТРО для Мьянмы // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021 – Т. 7. – № 4. – С. 33–42. doi: 10.17816/transsyst20217433-42

To cite this article:

Htay ThZ, Glushenkov VA, Komarov BA. Analysis of the possibility of using solar energy to supply the innovative ELTRO transport system for Myanmar. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021; 7(4):33-42. doi: 10.17816/transsyst20217433-42

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехнические комплексы и системы

УДК [UDC] 621:24
DOI 10.17816/transsyst20217443-51

© А. Н. Яшнов, Л. А. Васильчук, П. Ю. Кузьменков, И. В. Чаплин
Сибирский государственный университет путей сообщения
(Новосибирск, Россия)

ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СТРУННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Цель: Обеспечить изучение и контроль напряженно-деформированного состояния несущих конструкций в процессе эксплуатации магнитолевитационных транспортных систем.

Методы: Экспериментально-теоретические исследования динамических параметров.

Результаты: Для оценки напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций магнитолевитационных транспортных систем с применением струнных пролетных строений предложено измерять частоты собственных колебаний.

Заключение: Организация диагностики или мониторинга изменения частот собственных колебаний несущих конструкций обеспечивает необходимый уровень эксплуатационной надежности «маглев».

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние конструкций, частота собственных колебаний.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS
Field – Electrical complexes and systems

© A. N. Yashnov, L. A. Vasilchuk, P. Yu. Kuzmenkov, I. V. Chaplin
Siberian Transport University
(Novosibirsk, Russia)

TRANSPORT SYSTEMS LOAD-BEARING STRUCTURES STATE DIAGNOSTICS AND MONITORING

Aim: To provide the study and control of the stress-strain state of load-bearing structures during the operation of magnetolevitation transport systems.

Methods: Experimental and theoretical studies of dynamic parameters.

Results: To assess the stress-strain state of the main load-bearing structures of magnetolevitation transport systems using string superstructure it is proposed to measure the natural vibration frequencies.

Conclusion: The organization of diagnostics or monitoring of changes in the natural vibration frequencies of load-bearing structures ensures the operational reliability of load-bearing structures for Maglev.

Key words: stress-strain state of structures, natural vibration frequency.

ВВЕДЕНИЕ

Действующая на территории Российской Федерации нормативно-правовая база (ФЗ № 384, СП 274.1325800.2016, ГОСТ 31937-2011) регламентирует необходимость установки систем мониторинга технического состояния для сооружений, удовлетворяющих хотя бы одному из следующих условий:

- высота более 100 м;
- пролеты более 100 м;
- мосты, построенные как экспериментальные, в том числе из новых материалов или с применением новых технологий;
- мосты в условиях плотной городской застройки при расположении конструктивных элементов ближе 20 м от существующих зданий и сооружений.

Очевидно, что искусственные сооружения новой транспортной инфраструктуры «Маглев» будут попадать под эти требования. Кроме того, обоснование конкурентных преимуществ магнитолевитационного транспорта (по критериям надежности и безопасности) над уже существующими традиционными видами транспорта невозможно без организации процесса диагностики и мониторинга основных несущих конструкций [1]. Автоматизированные системы диагностики и мониторинга позволят аккумулировать экспериментальные данные об особенностях реальной работы новых конструктивных элементов и формировать «банк» знаний для совершенствования проектных решений в условиях отсутствия опыта эксплуатации [2].

Ключевой проблемой проектирования систем мониторинга технического состояния для объектов, имеющих существенную протяженность, является выбор измерительного оборудования [3], технологии и подходов в организации работ [4].

При проектировании систем мониторинга протяженных конструкций распространены системы с использованием оптоволоконных датчиков [5–8]. Одна из конструктивных особенностей большей части оптоволоконных датчиков заключается в их заделке непосредственно в конструкцию, что исключает возможность выполнения сервисного обслуживания и замены. Исходя из этого при проектировании систем, базирующихся на оптоволоконных датчиках, закладывают определенный процент дублирующего оборудования на случай его потери в процессе монтажа или старения в процессе эксплуатации. Так согласно данным крупнейшего в Европе производителя оптоволоконного оборудования для геотехнического и структурного мониторинга (Smartec) выживаемость в случае заделки датчиков при монтаже составляет порядка 90–100 %, потери связанные со старением оборудования в результате воздействия

агрессивной среды, составляет порядка 1–2 % в год [8]. Соответственно ежегодные потери по оборудованию в случае большого объема датчиков могут составлять значительные суммы. Поэтому необходимо совершенствовать подходы к организации мониторинга технического состояния.

МОНИТОРИНГ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Учитывая дороговизну стационарных систем мониторинга, существенно снижающую их эффективность, возможно развитие альтернативных подходов. Например, для мониторинга состояния протяженных объектов, имеющих высокую степень повторяемости конструктивных элементов, будет целесообразным использование мобильных диагностических комплексов [9]. При таком подходе оборудование не закрепляют за объектом для непрерывного мониторинга, а переставляют его по элементам по специально разрабатываемой программе мониторинга или по мере необходимости. Мониторинг в этом случае – это набор периодически выполняемых в единой системе автоматизированных диагностических процедур. Таким образом, можно достигнуть значительной экономии средств на оборудование для мониторинга. Кроме того, мобильные системы обеспечивают возможность выполнения сервисного обслуживания оборудования и его проверок.

Основной проблемой эффективного функционирования такой системы будет выбор контролируемых параметров, которые должны быть информативны для обеспечения корректной оценки, а их количество ограничено для обеспечения мобильности и уменьшения стоимости. Если принять в качестве основных несущих конструкций пролетных строений струнные системы, то выбор основного контролируемого параметра становится очевидным – это частоты собственных колебаний.

Известна зависимость между частотой поперечных колебаний нити v_n и усилием ее натяжения N :

$$v_n = \frac{n}{2L_s} \sqrt{\frac{N}{m_s}}, \quad (1)$$

или

$$N = \frac{m_s \cdot (2L_s \cdot v_n)^2}{n^2}, \quad (2)$$

где n – порядковый номер моды колебаний (число полуволн);

L_s – длина пролета струны;

m_s – погонная масса струны.

Изменение собственной частоты колебаний конструкции струны будет индикатором возникновения повреждений в пролетном строении. Зафиксировать эти изменения можно с помощью вибродатчиков существующих сертифицированных измерительных систем. Например, специалисты СибНИИ мостов СГУПС используют для этих целей систему «Тензор МС» (Рис. 1).

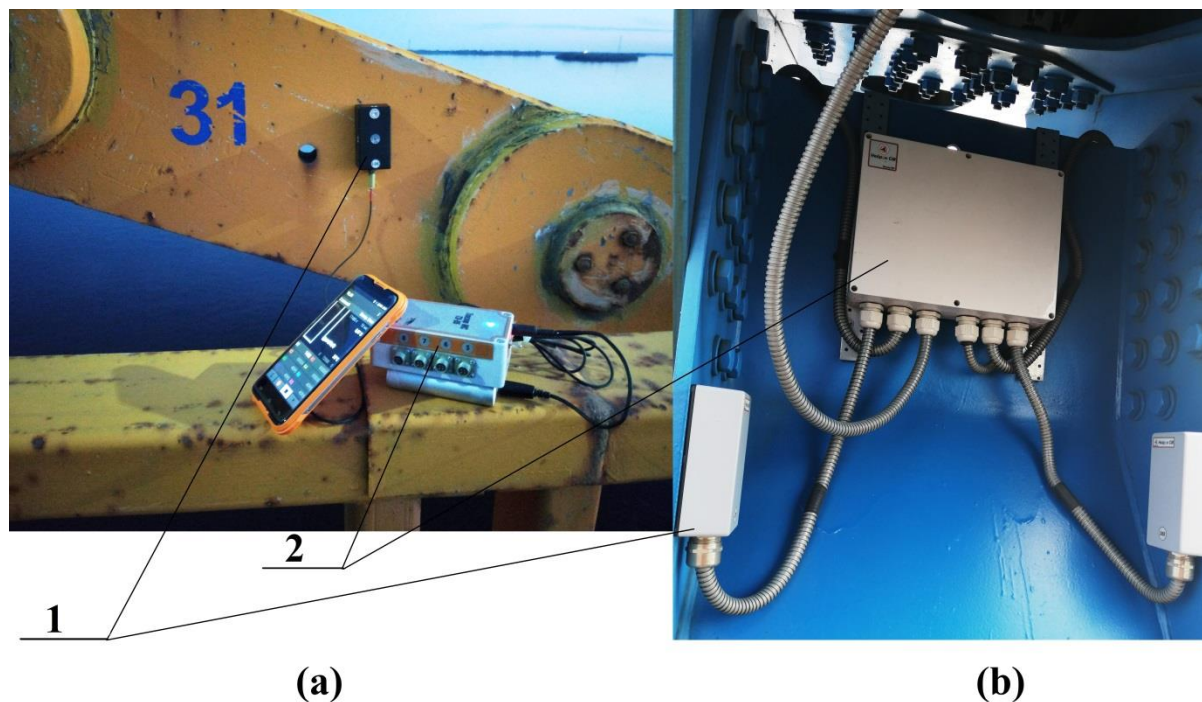


Рис. 1. Автоматизированный измерительный комплекс «Тензор МС»
для диагностики и мониторинга:

а – в мобильном исполнении на ванте Югорского моста через р. Обь

1 – вибродатчик;

2 – коммутационно-измерительный блок.

б – в стационарном исполнении для непрерывного мониторинга на подвеске моста через р. Енисей на обходе г. Красноярска

Методы, основанные на анализе динамических параметров [10–12] позволяют осуществлять неразрушающую диагностику преднапряженной струны. По характеру своей динамической работы преднапряженные струнные элементы схожи с вантами [10]. Заметим, что отличительной чертой динамической работы вант является целочисленная кратность частот собственных колебаний, что позволяет идентифицировать их при обработке графиков широкого спектра частот мостового сооружения в целом. На Рис. 2 приведен пример спектра частот, зафиксированных на пролетном строении, и выделенный спектр для вантового элемента. Выделение собственных частот происходит при отсутствии временной подвижной нагрузки на пролетном строении, возбуждение колебаний при

этом происходит от «шумовых» (ветер, проезд транспорта около сооружения и т.п.) внешних воздействий.

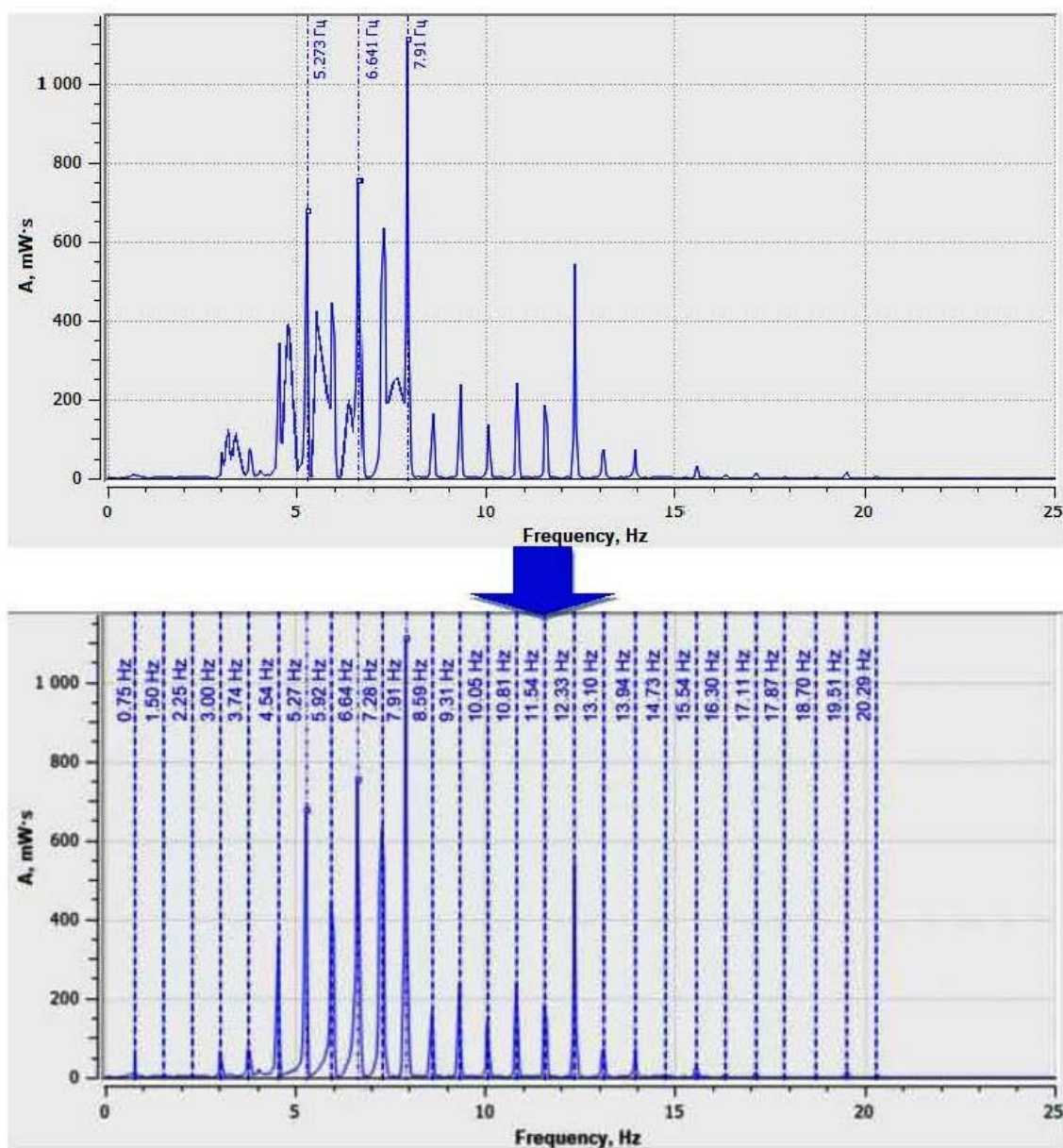


Рис. 2. Выделение спектра частот колебаний ванта (струны)

Выбор места для установки вибродатчика осуществляют исходя из необходимости фиксации максимально возможного количества форм колебания струны, т.е. в месте заделки или опирания струны.

МОНИТОРИНГ ОПОР

Учитывая, что вибродатчик для диагностики натяжения струны целесообразно ставить над опорой, можно использовать его и для диагностики состояния опор струнной транспортной системы. В качестве расчетной схемы промежуточной опоры применяют вертикальную консоль

с заделкой в грунты основания. Частоту основного (первого) тона собственных колебаний идеальной консоли определяют по формуле:

$$\nu_n = \frac{0,56}{L_o^2} \sqrt{\frac{EI}{m_o}}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала;

I – момент инерции поперечного сечения;

L_o – длина консоли;

m_o – погонная масса конструкции.

Соответственно при развитии повреждений в опоре будет изменяться и частота собственных колебаний конструкции. Заметим, что для значимого изменения собственных колебаний тело опоры должно получить существенные повреждения, которые могут быть и визуально выявлены службой эксплуатации сооружения. Но фиксация изменения собственных частот позволяет выявить проблемы, которые могут возникнуть в невидимых частях опор (карстовые явления, размывы [13–15], деградация многолетнемерзлых грунтов и т.п.), так как в этом случае изменяются граничные условия в расчетной схеме с соответствующим изменением основной гармоник собственных колебаний. Иллюстрация процесса мониторинга опоры приведена на Рис.3.

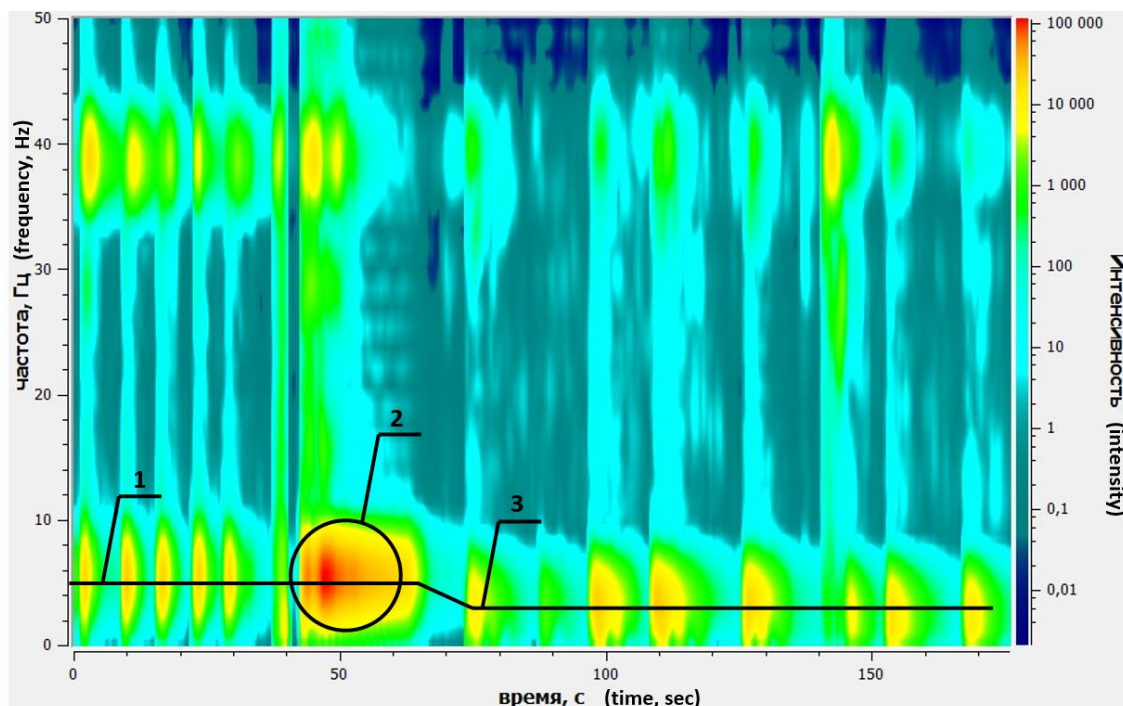


Рис. 3. Диагностика повреждений промежуточных опор в системе мониторинга:

- 1 – исправное состояние;
- 2 – сверхнормативное воздействие;
- 3 – поврежденная конструкция

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций магнитолевитационных транспортных систем с применением струнных пролетных строений предложено измерять частоты собственных колебаний. Организация диагностики или мониторинга изменения частот собственных колебаний несущих конструкций обеспечивает необходимый уровень эксплуатационной надежности «маглев» при применении инновационных струнных систем пролетных строений.

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. Yashnov A, Kuzmenkov P. Innovative aspects in developing bridge monitoring systems. Abramov AD, Manakov AL, Klimov AA, Khabarov VI, Medvedev VI, editors. MATEC Web of Conferences [Internet]. EDP Sciences; 2018;216:01009. doi: 10.1051/mateconf/201821601009
2. Бокарев С.А., Карапетов Э.С., Чижов С.В. и др. Содержание и реконструкция мостов и водопропускных труб на железных дорогах. ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. [Bokarev SA, Karapetov ES, Chizhov SV, Yashnov AN. Soderzhanie i rekonstrukciya mostov i vodopropusknyh trub na zheleznym dorogah. FGBU DPO "Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2019. (In Russ.)].
3. Тулеушова Р., Наурызбаев М.К. Оценка эффективности системы мониторинга мостового сооружения // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7. – № 2. – С. 1–18. [Tuleushova R, Nauryzbayev MK. Evaluating the effectiveness of the monitoring system of bridge structures. Naukavedeniy. 2015;7(2):1-18. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.12.2021. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-sistemy-monitoringa-mostovogo-sooruzheniya>
4. Кузьменков П.Ю., Яшнов А.Н. Проектирование систем мониторинга технического состояния внеклассных железнодорожных мостов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – № 1. – С. 470–474. [Kuzmenkov PY, Yashnov AN. Proektirovanie sistem monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vneklassnyh zheleznodorozhnyh mostov. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. 2016;(1):470-474. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.12.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26416299&>
5. Glišić B, Inaudi D. Fibre optic methods for structural health monitoring. John Wiley & Sons, Ltd, 2007 Oct 26. doi: 10.1002/9780470517819
6. Habel W, Kohlhoff H, Knapp J, Helmerich R. Monitoring system for long-term evaluation of prestressed railway bridges in the new Lehrter Bahnhof in Berlin.

- Third World Conference on Structural Control*, 7-12.4.2002, Como, Italy. Ссылка активна на 20.05.2021. Доступно по: <https://roctest.com/wp-content/uploads/2017/03/c84.pdf>
7. Matos C, Sousa H, Figueiras JA, Casas JR. Structural Health Monitoring (SHM) system implemented in Sorraia River Bridge. Ссылка активна на 20.05.2021. Доступно по: <https://www.academia.edu/>
 8. Inaudi D. Overview of 40 bridge Structural Health Monitoring projects. Ссылка активна на 20.05.2021. Доступно по: <https://smartec.ch/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/c197.pdf>
 9. Кравченко А.Я., Роденко С.В., Сафонов О.Н. и др. Экспериментальные исследования динамической работы опор линий электропередачи при разработке измерительного комплекса «Лэптон» для оценки их технического состояния // *Электроэнергия. Передача и распределение*. – 2018. – Т. 6. – № 51. – С. 126–131. [Kravchenko AY, Rodenko SV, Safonov ON, et al. Eksperimental'nye issledovaniya dinamicheskoy raboty opor linij elektropredachi pri razrabotke izmeritel'nogo kompleksa "Lepton" dlya ocenki ih tekhnicheskogo sostoyaniya. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie*. 2018;6(51):126-131 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 14.12.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36456499>
 10. Чаплин И.В. Совершенствование метода контроля усилий в вантах эксплуатируемых мостов по частотам собственных колебаний: дис.... канд. техн. наук. – Новосибирск; 2020. – 157 с. [Chaplin IV. Sovershenstvovanie metoda kontrolja usilij v vantah jekspluatiruemyh mostov po chastotam sobstvennyh kolebanij [dissertation]. Novosibirsk; 2020. 157 p. (In Russ.)].
 11. Cable Assessment with Brimos [Internet]. [cited 12 Dec 2021]. Available from: https://www.bbv-systems.com/fileadmin/con-bbv/Systeme_und_Verfahren/Brimos_KKS/BRIMOS_Cable_Folder_BBV.pdf
 12. Ladysz A, Casas R, Joan R. Structural health monitoring and life-cycle costing of structures. Application to cable-stayed bridges. 2009. 62 p.
 13. Васильчук Л.А., Яшинов А.Н. Диагностика подмывов опор мостов по динамическим параметрам // *Мосты и тоннели: теория, исследования, практика*. – 2020. – № 18. – С. 18–27. [Vasilchuk LA, Yashnov AN. Diagnostics of bridge scour by dynamic parameters. *Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice*. 2020;(8):18-27. (In Russ.)]. doi: 10.15802/bttrp2020/217694
 14. Briaud JL, Hurlbaush S, Chang K, et al. Realtime monitoring of bridge scour using remote monitoring technology. *Austin*. USA. 2011.
 15. Yao C, Darby C, Yu OY, et al. Motion sensors for scour monitoring: laboratory experiment with a shallow foundation. *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design*. West Palm Beach, USA, GeoFlorida. 2010.

Сведения об авторах:

Яшинов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4319-4860; ORCID: 0000-0001-7435-3376;
E-mail: yan_andr@mail.ru

Васильчук Любовь Александровна;

eLibrary SPIN: 4206-6929; ORCID: 0000-0001-6332-4211;
E-mail: vasilchuck97@mail.ru

Кузьменков Павел Юрьевич;

eLibrary SPIN: 4985-7938; ORCID: 0000-0002-4498-3761;

E-mail: kpu31@mail.ru

Чаплин Иван Владимирович, кандидат технических наук;

eLibrary SPIN: 1643-0669; ORCID: 0000-0002-9751-079X;

E-mail: ivannumber1_chaplin@mail.ru

Information about the authors:

Andrey N. Yashnov, PHD in engineering;

eLibrary SPIN: 4319-4860; ORCID: 0000-0001-7435-3376;

E-mail: yan_andr@mail.ru

Lyubov A. Vasilchuk;

eLibrary SPIN: 4206-6929; ORCID: 0000-0001-6332-4211;

E-mail: vasilchuck97@mail.ru

Pavel Yu. Kuzmenkov;

eLibrary SPIN: 4985-7938; ORCID: 0000-0002-4498-3761;

E-mail: kpu31@mail.ru

Ivan.V. Chaplin, PHD in engineering;

eLibrary SPIN: 1643-0669; ORCID: 0000-0002-9751-079X;

E-mail: ivannumber1_chaplin@mail.ru

Цитировать:

Яшнов А.Н., Васильчук Л.А., Кузьменков П.Ю., Чаплин И.В. Диагностика и мониторинг состояния струнных транспортных систем // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 43–51. doi: 10.17816/transsyst20217443-51

To cite this article:

Yashnov AN, Vasilchuk LA, Kuzmenkov PYu, Chaplin IV. Transport systems load-bearing structures state diagnostics and monitoring. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):43-51. doi: 10.17816/transsyst20217443-51

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.47-656

DOI 10.17816/transsyst20217452-64

© М. В. Фёдорова

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ
МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ**

Обоснование: Транспортно-пересадочный узел отвечает своей направленностью основополагающей функции – сосредоточения и организации транспортных потоков различных видов транспорта, включая индивидуальный и пересадки пассажиров и носит утилитарный характер. Один из возможных путей решения – размещение не просто пересадочных комплексов, а многоэтажных сооружений такого рода. Где первый этаж – распределительный пешеходный уровень, основная задача которого – обеспечение пересадки пассажиров в комфортных условиях. На следующем уровне расположены объекты попутного обслуживания пассажиров, три верхних этажа – «перехватывающая» парковка. С прилегающей к узлу городской территорией связи обеспечиваются по подземным пешеходным переходам.

Цель: Ввод в эксплуатацию линий магнитолевитационного транспорта в местах концентрации растущих пассажиропотоков, который будет способствовать сокращению временных затрат в пути, удовлетворению провозной потребности, улучшению качества и роста безопасности поездки при движении по выделенным полосам. При этом необходимо интегрировать магнитолевитационный транспорт в транспортную систему городов.

Метод: В статье определены цели и задачи размещения транспортно-пересадочных комплексов. Представлена методика оценки мест размещения транспортно-пересадочных узлов, состоящая из трёх этапов.

Результаты: На первом этапе в соответствии с предлагаемой методикой необходимо выполнить укрупненную оценку рассматриваемых территорий с целью определения перспективности их развития. На втором этапе необходимо выполнить анализ существующей транспортной инфраструктуры в регионе, обеспечивающей пассажирские перевозки с целью выявления зон с наибольшей транспортной доступностью, как в текущем периоде, так и на перспективу. На третьем этапе на основе логистических критериев производится анализ транспортной сети в зонах с наибольшими пассажиропотоками.

Ключевые слова: многофункциональный транспортно-пересадочный узел, транспортно-пересадочных комплексов

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© M. V. Fedorova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**TARIFF POLICY OFFERS ON THE LINE OF MAGNETIC
LEVITATION TRANSPORT**

Background: The transport interchange hub meets its fundamental function - the concentration and organization of traffic flows of various types of transport, including individual and passenger transfers, and is of a utilitarian nature. One of the possible solutions is to place not just transfer complexes, but multi-storey structures of this kind. Where the first floor is a distribution pedestrian level, the main task of which is to ensure the transfer of passengers in a comfortable environment. On the next level there are objects of passing passenger service, the three upper floors are "intercepting" parking. With the urban area adjacent to the node, communications are provided through underground pedestrian crossings.

Aim: The commissioning of maglev transport lines in places of concentration of growing passenger traffic, which will help to reduce travel time, meet freight needs, improve the quality and increase travel safety when driving on dedicated lanes. At the same time, it is necessary to integrate maglev transport into the transport system of cities.

Method: The article defines the goals and objectives of the placement of transport interchange complexes. The article presents a methodology for assessing the location of transport hubs, which consists of three stages.

Results: At the first stage, in accordance with the proposed methodology, it is necessary to carry out an integrated assessment of the territories under consideration in order to determine the prospects for their development. At the second stage, it is necessary to analyze the existing transport infrastructure in the region, providing passenger traffic in order to identify areas with the greatest transport accessibility, both in the current period and in the future. At the third stage, on the basis of logistic criteria, the analysis of the transport network in the areas with the highest passenger flows is carried out.

Key words: multifunctional transport interchange hub, transport interchange complex

ВВЕДЕНИЕ

В зарубежной планировочной практике накоплен богатый опыт размещения мультимодальных пересадочных комплексов. Основными местами, где размещаются подобные объекты, являются:

- узлы внешнего транспорта;
- станции скоростного внеуличного транспорта в центре крупных жилых массивов;
- станции скоростного внеуличного транспорта в местах концентрации мест приложения труда (аналог отечественных промышленных зон);
- крупные торговые центры (молы) [1–3].

Каждый из этих видов пересадочных комплексов имеет свою специфику функционирования, свои планировочные параметры. Вместе с тем иные принципы организации работы общественного транспорта, иное распределение поездок между видами транспорта, иные объемы пассажиропотоков и другие причины не дают возможности механически перенести зарубежный опыт в отечественную градостроительную практику.

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

Мы предлагаем включить в транспортную систему городов магнитолевитационный транспорт на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области [4–6].

МЛТ является эстакадным видом kolejного транспорта и обладает всеми достоинствами и недостатками эстакадных линий. К его достоинствам относятся, прежде всего, безопасность, экологичность (пониженный уровень шума за счет отсутствия трущихся поверхностей и отсутствие вредных выбросов в атмосферу), скорость и сниженное энергопотребление за счет отсутствия сил трения, а также высокая пропускная способность [7–9].

МЛТ имеет низкие показатели энергопотребления. Энергозатраты в среднем в расчете на 1 пасс-км составляют 0,21 кВт/час, что в условиях тарифов для четвертой ценовой группы предприятий Москвы составляет 0,29 руб. Следует отметить, что энергозатраты занимают существенную долю в структуре операционных расходов: в пиковом режиме для рельсового транспорта они существенно превышают среднее значение 29 % [10–12].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

На сегодняшний день накоплен значительный опыт разработки предложений по развитию multifunctionальных транспортно-пересадочных узлов (далее МТПУ) с размещением пересадочных комплексов. В настоящее время в Москве завершены проработки по узлам

«Речной вокзал», «Тушинская», «Царицыно», ведется разработка еще нескольких проектов. Накопленный опыт учитывает специфику функционирования подобных объектов в России: технологические требования отечественных транспортных систем, отечественную нормативную базу и законодательство.

Ниже изложены общие подходы, которые должны применяться при размещении пересадочных комплексов.

Основная цель, решаемая при размещении пересадочного комплекса - максимальная реализация социального назначения МТПУ [13–15].

Социальная идея МТПУ – обеспечение максимально комфортных условий пересадки с одного вида транспорта на другой с минимальными затратами времени, включая возможное предоставление полного комплекса попутного обслуживания пассажира. Кроме того, в узлах необходимо максимально возможно учитывать интересы автовладельцев, технологические требования систем наземного пассажирского транспорта и скоростного внеуличного транспорта и другие выше перечисленные требования.

Реализация основной цели подразумевает решение трех основных задач.

Первая задача – обеспечение комфорта и удобства пассажира. Максимально обеспечить комфорт пассажиров при размещении всех основных элементов МТПУ возможно при размещении всех основных элементов МТПУ в составе единого комплекса. Подобное решение позволяет обеспечить пространственно-функциональную взаимосвязь всех основных элементов МТПУ, единое архитектурное решение городских площадей у станций скоростного внеуличного транспорта.

Многоэтажная система комплекса МТПУ позволяет: разделить разнонаправленные пешеходные потоки, избежать пересечения транспортных и пешеходных потоков, обеспечить возможность оплаты проезда в комфортных условиях крытого помещения, разместить объекты попутного обслуживания пассажиров. В залах ожидания пересадочного комплекса возможно размещение системы информирования пассажиров о времени прибытия того или иного маршрутного транспортного средства. Кроме того, возможность оборудования залов комплекса единой системой безопасности с централизованным пунктом управления и связью с органами внутренних дел позволит значительно снизить угрозу террористических актов в МТПУ.

Возможность оплаты проезда пассажирами наземного пассажирского транспорта непосредственно в помещении пересадочного комплекса позволит снизить задержки подвижного состава в МТПУ, что, в свою очередь, даст возможность несколько снизить загрузку улично-дорожной сети, прилегающей к МТПУ.

Вторая задача – обеспечение максимальной функциональности, или, вернее сказать, здания пересадочного комплекса - напрямую связана с высокой градостроительной ценностью территорий у станций скоростного внеуличного транспорта.

Функциональной основой МТПУ выступает станция (станции) скоростного внеуличного транспорта.

Наземный пассажирский транспорт представлен в составе МТПУ несколькими основными элементами:

1. Фронты посадки-высадки пассажиров;
2. Отстойно-разворотные площадки наземного пассажирского транспорта;

Вопрос необходимости их размещения в составе МТПУ является наиболее важным. С одной стороны, станции внеуличного транспорта – основные пункты тяготения для наземного транспорта, т.е. существует объективная необходимость размещения площадок в МТПУ. Вместе с тем высокая инвестиционная привлекательность земли в составе МТПУ приводит к тому, что происходит «выдавливание» операторов рынка наземного пассажирского транспорта с участков отстойно-разворотных площадок с их последующим занятием под объекты культурно-бытового и досугового обслуживания населения;

3. Устройства, обеспечивающие функционирование системы наземного пассажирского транспорта, - диспетчерские, комнаты отдыха водителей, буфеты, туалеты и т.п.

Для обеспечения нужд владельцев индивидуального транспорта в составе МТПУ необходимо размещать перехватывающие парковки.

Помимо объектов транспортного назначения представляется необходимость размещения в составе МТПУ объектов попутного обслуживания пассажиров: мелкорозничного, бытового и т.п.

Таким образом, даже беглый взгляд на то число объектов, которое необходимо разместить в составе МТПУ, показывает, что при плоскостном решении МТПУ он должен занимать достаточно большую площадь.

Один из возможных путей решения – размещение не просто пересадочных комплексов, а многоэтажных сооружений такого рода. Где первый этаж – распределительный пешеходный уровень, основная задача которого – обеспечение пересадки пассажиров в комфортных условиях. На следующем уровне расположены объекты попутного обслуживания пассажиров, три верхних этажа – «перехватывающая» парковка. С прилегающей к узлу городской территорией связи обеспечиваются по подземным пешеходным переходам.

Третья задача – комплексность – тесно взаимосвязана и является следствием и продолжением двух предыдущих задач.

Суть принципа комплексности двояка: с одной стороны, при развитии МТПУ необходимо обеспечить взаимосвязь всех элементов узла,

описанных во втором принципе, с учетом обеспечения комфорта пассажиров; с другой стороны, необходимо обеспечить планировочную связь между узлом как центром системы расселения локального значения, обеспечить их архитектурную связанность, т.е. в узле необходимо обеспечить комплексную взаимосвязанность всех элементов транспортной инфраструктуры с существующей средой.

Решение вышеописанных задач формирует общие походы к развитию узлов. Вместе с тем цели и задачи носят основополагающий характер и их дальнейшее практическое применение поможет углубить и расширить их, наполнив практическим содержанием, дав толчок к дальнейшему развитию, как нормативной базы градостроительства, так и новых подходов к планировочному развитию МТПУ.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ

Итак, транспортно-пересадочный узел отвечает своей направленностью основополагающей функции – сосредоточения и организации транспортных потоков различных видов транспорта, включая индивидуальный, и пересадки пассажиров и носит утилитарный характер.

Варианты определений, представляют собой разнообразие в области транспортного аспекта транспортно-пересадочных узлов. Но в основе своей содержат единое понимание назначения МТПУ, обеспечение возможности пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой при этом не ухудшая уровня комфорта поездки и оптимизируя работу транспортной сети а также снижая нагрузку на УДС.

Полный перенос зарубежных методики и практики формирования МТПУ на отечественную практику не представляется возможным, что связано с целым рядом факторов (организация работ систем пассажирского транспорта, интенсивность пассажиропотоков, законодательная база и т.п.). Тем не менее, основные принципы и подходы остаются едиными. Эти принципы и определяют методологический подход к определению мест расположения МТПУ в транспортной структуре региона.

Основным подходом в качестве теоретической основы при определении перспективных мест размещения МТПУ является системный анализ.

Ввиду того, что транспортно-пересадочный узел является одним из элементов транспортной системы, его отдельное рассмотрение теряет всякий смысл без рассмотрения всей транспортной системы.

Одной из основных целей системного анализа является, определение основных составных элементов системы, и определение их взаимодействия

с учетом существующих возможностей и ограничений. В первую очередь при проведении анализа какого-либо объекта осуществляется определение его целевой функции в системе. В рамках транспортной системы, обслуживающей перемещения пассажиров, основной целевой функцией МТПУ является улучшение условий передвижения жителей агломерации за счет, с одной стороны, развития системы пассажирского транспорта, с другой – улучшения условий передвижения по улично-дорожной сети за счет ее разгрузки.

Последнее достигается за счет сокращения количества автомобильного пассажирского транспорта, как личного, так и общественного, действующего на маршрутах обслуживаемых внеуличным транспортом, обеспечивающим большую скорость сообщения в условиях большой загруженности дорожной сети. Одним из структурных элементов МТПУ, обеспечивающих сокращение количества пассажирского автомобильного транспорта являются перехватывающие парковки.

Принимая во внимание, что разрабатываемая методика должна обеспечивать принятие решения о целесообразности размещения МТПУ в том или ином месте, а также помогать определять место локализации МТПУ и в тоже время обеспечивать приемлемый уровень достоверности при малых затратах, наиболее целесообразным видится использование в качестве инструмента метод многокритериальной бальной оценки. Данный метод позволяет произвести отбор нескольких альтернатив из существующего конечного множества вариантов. При этом при проведении отбора в несколько этапов данная методология позволяет значительно сократить время выполнения работ за счет уменьшения количества рассматриваемых вариантов на каждом этапе. В тоже время данная методология позволяет при появлении новых критериев быстро производить пересмотр отобранных вариантов и при необходимости либо увеличивать, либо уменьшать число рассматриваемых альтернатив на любом из этапов.

На первом этапе в соответствии с предлагаемой методикой необходимо выполнить укрупненную оценку рассматриваемых территорий с целью определения перспективности их развития. Для этого необходимо выполнить анализ того, как сформирована геосоциальная и геоэкономическая структура расселения в рассматриваемом регионе.

Основными критериями для проведения данной оценки предлагаются:

Критерий инвестиционной привлекательности муниципальных районов. Данный критерий позволяет оценить потенциал экономического роста, и, следовательно потенциал роста спроса на перемещения.

Критерий численности населения в наиболее крупных городах и поселениях в рассматриваемых районах. Данный критерий позволяет оценить уровень спроса на перемещения, который напрямую зависит от

численности населения. Это объясняется тем, что количество пассажирских корреспонденций напрямую зависит от числа жителей в населенных пунктах, корреспондирующих между собой.

Критерий удаленности от ядра агломерации, выраженный через временные затраты на перемещение. Данный критерий предлагается исходя из понимания того, что одним из основных критериев, характеризующих условия передвижения пассажира, является время, затраченное на перемещение.

При этом инвестиционную привлекательность предлагается оценивать по пяти бальной шкале (наивысшая оценка – 5 баллов, минимальная – 1 балл).

Критерий, связанный с численностью населения предлагается оценивать по пяти бальной шкале (наивысшая оценка – 5 баллов, минимальная – 1 балл) При этом также предлагается использовать граничное значение численности населения для исключения из рассмотрения поселения с низким значением.

Критерий удаленности от ядра агломерации предлагается оценивать по пяти бальной шкале (наивысшая оценка – 5 баллов, минимальная – 1 балл). При этом также предлагается использовать граничное значение времени для выделения поселений, не имеющих связей с агломерацией.

На втором этапе необходимо выполнить анализ существующей транспортной инфраструктуры в регионе, обеспечивающей пассажирские перевозки с целью выявления зон с наибольшей транспортной доступностью, как в текущем периоде, так и на перспективу.

Второй этап определения мест перспективного размещения начинается с оценки состояния транспортно-логистической инфраструктуры региона, обеспечивающей движение автомобильного транспорта и пассажирского транспорта общего пользования. А именно проводится:

- анализ основных показателей существующей сети дорог федерального и регионального значения региона;
- анализ основных показателей существующей сети железных дорог расположенных на территории региона;
- анализируется инфраструктура пассажирского транспорта общего пользования в регионе;
- рассматриваются основные проекты развития автомобильных дорог и инфраструктуры пассажирского транспорта общего пользования;
- оценка перспектив развития внеуличного общественного транспорта на территории региона .

Основным критерием является обеспеченность рассматриваемых районов дорожной сетью, которая определяется показателем плотности дорожной сети.

Данный критерий предлагается оценивать по пяти бальной шкале при этом:

5 баллов присваиваются районам в которых плотность дорожной сети выше 200 км на 1000 км²

4 балла присваиваются районам в которых плотность дорожной сети находится в диапазоне от 180 до 200 км на 1000 км²

3 балла присваиваются районам в которых плотность дорожной сети находится в диапазоне от 150 до 180 км на 1000 км²

2 балла присваиваются районам в которых плотность дорожной сети находится в диапазоне от 120 до 150 км на 1000 км²

1 балл присваивается районам в которых плотность дорожной сети ниже 120 км на 1000 км²

Вторым критерием является наличие в рассматриваемом населенном пункте скоростного внеуличного транспорта (в настоящее время в области таким транспортом являются пригородные пассажирские поезда).

Данный критерий предлагается оценивать по пяти бальной шкале при этом:

5 баллов присваиваются населенным пунктам, в которых суточный пассажиропоток по отправлению выше 3000 пассажиров;

4 балла присваиваются населенным пунктам, в которых суточный пассажиропоток по отправлению находится в диапазоне от 2000 до 3000 пассажиров;

3 балла присваиваются населенным пунктам, в которых суточный пассажиропоток по отправлению находится в диапазоне от 1000 до 2000 пассажиров;

2 балла присваиваются населенным пунктам, в которых суточный пассажиропоток по отправлению находится в диапазоне от 800 до 1000 пассажиров;

1 балл присваивается населенным пунктам, в которых суточный пассажиропоток по отправлению менее 800 пассажиров;

0 баллов присваиваются населенным пунктам, в которых отсутствует пригородное пассажирское сообщение.

Исходя из поставленной задачи, анализ развития транспортной инфраструктуры на перспективу, в первую очередь, включает в себя анализ перспективных линий внеуличного транспорта, так как именно эти виды транспорта позволяют выполнить целевую функцию МТПУ в части разгрузки улично-дорожной сети. В результате данного анализа определяются места перспективного размещения МТПУ.

Полученные в результате проведенного анализа данные составляют необходимую основу для решения задачи определения мест, наиболее перспективных для развития транспортно-пересадочных узлов.

На следующем этапе на основе логистических критериев производится анализ транспортной сети в зонах с наибольшими пассажиропотоками.

Проводится анализ существующих и перспективных показателей развития пассажиропотоков, существующей и перспективной интенсивности движения автомобильного транспорта и пассажирского транспорта общего пользования в регионе:

- краткая характеристика существующей системы пассажирских корреспонденций региона (основные направления и виды сообщения);
- оценка объемов пассажиропотоков в Ленинградской области по видам перевозок (личный транспорт и транспорт общего пользования) и видам сообщения межмуниципальные, в сообщении с близлежащими регионами), междугородние, международные), выявление наиболее напряженных направлений и узлов;
- оценка показателей интенсивности движения на личном автомобильном транспорте и транспорте общего пользования по направлениям;
- прогноз спроса на пассажирские перевозки автомобильным транспортом и прогноз интенсивности движения автотранспорта в рассматриваемом регионе.

В рамках данной методики к логистическим критериям отнесены критерии, определяющие спрос на размещение в данном конкретном месте транспортно-пересадочного узла, такие как:

- наличие в рассматриваемом месте двух и более видов транспорта, обеспечивающих перемещение пассажиров из места размещения МТПУ в места целевого назначения;
- наличие достаточного пассажиропотока, проходящего через данную территорию.

На следующем этапе проводится анализ выбранных зон на наличие ограничивающих критериев.

Ограничивающим критерием является наличие достаточной свободной для застройки площади в предполагаемом месте расположения МТПУ:

Данный этап является завершающим. В результате его выполнения происходит окончательный отбор перспективных мест расположения МТПУ.

Далее прогнозируется спрос на пересадочные узлы и перехватывающие парковки и производится расчёт их необходимой пропускной способности на основании разработанной методики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможные места размещения мультимодальных транспортно-пересадочных узлов на территории Ленинградской области – Мурино, Девяткино, Янино, Бугры, Кудрово, Сертолово, Всеволожск, Кириши, Гатчина, Отрадное. Целью строительства планируемых транспортно-пересадочных узлов является улучшение транспортного обслуживания и снижение затрат времени на поездки населения города Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что существенно влияет на комфортность передвижения пассажиров.

В дальнейших исследованиях автор попытается более подробно рассмотреть каждый этап методики оценки мест размещения многофункциональных транспортно-пересадочных узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года [Strategiya razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti na period do 2030 goda. [Internet]. (In Russ)]. Ссылка активна на: 12.02.2021. Доступно по: <http://www.spbtrd.ru/program-development/>
2. Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга 2017–2038 гг. (перспектива до 2048 г.) [Kontsepsiya razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga 2017-2038 gg. (perspektiva do 2048g.) [Internet]. (In Russ)]. Ссылка активна на: 12.03.2021. Доступно по: <http://krti.gov.spb.ru/koncepciya-razvitiya-transportnoj-sistemy-sankt-peterburga/>
3. Программа развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года [Programma razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti na period do 2030 goda. [Internet]. (In Russ)]. Ссылка активна на: 12.11.2020. Доступно по: <http://spbtrd.ru/program-development/development-program/>
4. Городской транспорт энергоэффективность, экологически устойчивый транспорт: сборник материалов для политических деятелей в развивающихся городах. – Берлин: GIZ, 2013. – 99 с. [*Gorodskoy transport energoeffektivnost', ekologicheski ustoychivyy transport: sbornik materialov dlya politicheskikh deyateley v razvivayushchikhsya gorodakh*. Berlin: GIZ; 2013. 99 p. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.10.2020. Доступно по: <http://greenlogic.by/content/files/dad357e3aecd74d42c89c14e4d4fb872.pdf>
5. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны: монография–СПб: Типография НП-Принт, 2015. – 140 с. [Zaitsev AA. *Magnitovlevitatsionny transport in a single transport system of the country: monograph*. St. Petersburg: NP-Print; 2015. 140 p. (In Russ.)].
6. Зайцев А.А., Соколова Я.В., Талашкин Г.Н. Транспорт на магнитном подвесе (монография). – СПб: ПГУПС, 2010. – 160 с. [Zaitsev AA, Sokolova YaV, Talashkin GN. *Transport na magnitnom podvese* (monograph). St. Petersburg: PGUPS; 2010. 160 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 02.11.2020. Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004907216>

7. Магнитолевитационный транспорт: научные проблемы и технические решения / под ред. Ю.Ф. Антонова, А.А. Зайцева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 612 с. [Zaitsev AA, Antonov YuF, editors. *Magnitolevitacionnyj transport: nauchnye problem i tekhnicheskie resheniya*. Moscow: FIZMATLIT; 2015. 612 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 02.10.2020. Доступно по: <https://b-ok.org/book/2910926/a2ce27>
8. Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» / под ред. Б.М. Лapidуса и С.Б. Нестерова. – М.: ООО «РАС», 2017. – 192 с. [Lapidus BM, Nesterov SB, editors. *Vakuumno-levitatsionnyye transportnyye sistemy: nauchnaya osnova, tekhnologii i perspektivy dlya zheleznodorozhnogo transporta: kollektivnaya monografiya chlenov i nauchnykh partnerov Ob'yedinonnogo uchonogo soveta* ОАО «RZHD». Moscow: PAC; 2017. 192 p. (In Russ.)].
9. Зайцев А.А. Магнитолевитационный транспорт: ответ на вызовы времени // Транспортные системы и технологии. – 2017. – № 1 (7). – С. 5–19. [Zaitsev AA. *Magnetolevitational transport: response to time challenges*. *Transportation Systems and Technology*. 2017;1(7suppl.1):5-19. (In Russ., Engl.)]. doi: 10.17816/transsyst2017315-13
10. Shanghai maglev – all you need to know maglev.net [cited 2017 Sept. 12]. Available from: <http://www.maglev.net/shanghai-maglev>
11. Vuchic VR, Casello JM. An evaluation of Maglev technology and its comparison with high speed rail Transportation Quarterly [cited 2017 Sept. 13]. Available from: <http://www.thetransitcoalition.us/LargePDFfiles/maglevEvalandComparisonHSR.pdf>
12. FTA Low-Speed Urban Maglev Research Program [cited 2017 Sept. 13]. Available from: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/FTALowSpeedLessonsLearned.pdf>
13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 г. № 1734-р [Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g.: utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22.11.2008 g. № 1734-r. [Internet]. (In Russ.)]. Дата обращения: 12.10.2020. Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008
14. Техническое задание на разработку Стратегии развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года [Tekhnicheskoye zadaniye na razrabotku Strategii razvitiya transportnoy sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti na period do 2030 goda [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 07.11.2020. Доступно по: <http://docplayer.ru/27602974-Tekhnicheskoe-zadanie-na-razrabotku-strategii-razvitiya-transportnoy-sistemy-sankt-peterburga-i-leningradskoy-oblasti-na-period-do-2030-goda.html>
15. Стратегия социально-экономического развития Ленинградской области до 2030 года от 13 июля 2016 года. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Leningradskoy oblasti do 2030 goda ot 13 iyulya 2016 goda [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 16.10.2020. Доступно по: http://lenoblinvest.ru/images/Strategy_2030.pdf

Сведения об авторе:

Фёдорова Мария Владимировна, к.э.н., старший преподаватель кафедры «Экономика транспорта»;

eLibrary SPIN: 1518-7831; ORCID: 0000-0003-2740-573X;

E-mail: tale19quale@mail.ru

Information about the author:

Maria V. Fedorova, PhD Economics, Senior Lecturer of Department of Economic of Transport;

eLibrary SPIN: 1518-7831; ORCID: 0000-0003-2740-573X;

E-mail: tale19quale@mail.ru

Цитировать:

Фёдорова М.В. Разработка методики оценки мест размещения многофункциональных транспортно-пересадочных узлов // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 52–64. doi: 10.17816/transsyst20217452-64

To cite this article:

Fedorova MV. Forecast of Demand for the Use of Maglev Transport. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):52-64. doi: 10.17816/transsyst20217452-64

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 338.26

DOI 10.17816/transsyst20217465-75

© Л. М. Чеченова, Н. В. Волыхина

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

ТЕНДЕНЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ЭКОМОБИЛЬНОСТИ

Обоснование: В настоящее время перед транспортной отраслью стоят нетрадиционные для нее вызовы, такие как потребность в модификации транспортной услуги и снижение зависимости от сырьевого рычага. При этом необходимо учитывать спад деловой активности, связанный с пандемическим кризисом и, как следствие, падение спроса и цен на углеводородное топливо в среднесрочной перспективе до момента окончания кризиса. Также реализация перспективной транспортной политики имеет тесную взаимосвязь с экономической категорией времени, поскольку ценность времени, преобразованная в скорость, переносит акцент ценности с первоначальной цены приобретаемой транспортной услуги на общую стоимость владения ею. Железнодорожная транспортная система РФ, как один из лидеров мировой транспортной системы, имеет все возможности активно включаться в глобальную перестройку в ответ на всемирный климатический и экологический кризисы.

Цель: определение взаимосвязи между принятием политики устойчивого развития и эффективностью реализации проектов развития магистральной инфраструктуры в России. Мы подтверждаем, что деятельность транспортных компаний в рамках установленных целей устойчивого развития (далее по тексту – ESG – Environmental, Social, and Corporate Governance) способствует улучшению их оперативной активности.

Методы: Методология исследования построена на анализе международных подходов и критериев оценки по ESG-факторам с использованием аналитических процедур выявления причинно-следственных связей стратегии развития железнодорожного транспорта РФ в рамках ESG. Информационная база исследования опирается на анализ отчетов международных организаций и данных АО «РЖД» в части финансирования, ожидаемых перспектив и эффектов.

Результаты: в результате исследования определены условия трансформации устойчивого развития железнодорожных транспортных систем в мире и РФ на фоне изменения географии и структуры товарных рынков, установлены благоприятные перспективы от прямого участия бизнеса во внедрении и реализации целей и задач устойчивого развития.

Заключение: на основании исследования дана оценка ориентирам ОАО «РЖД» в стратегии устойчивого развития. В целях реализации экологических инфраструктурных проектов установлены параметры соответствия стратегии развития железнодорожного транспорта России целям устойчивого роста.

Ключевые слова: устойчивое развитие, экосистема мобильности, железнодорожный транспорт.

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© L. M. Chechenova, N. V. Volykhina

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

TRENDS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ECOMOBILITY TRANSPORTATION SYSTEMS

Background: Nowadays, the transport industry faces unconventional challenges such as the need to modify the transport service and reduce dependence on resource leverage. At the same time, it is necessary to take into account the decline in business activity associated with the pandemic crisis and, as a result, the drop in demand and prices for hydrocarbon fuel in the medium term until the end of the crisis. Also, the implementation of a forward-looking transport policy has a close relationship with the economic category of time, since the value of time, converted into speed, shifts the emphasis of value from the initial price of the purchased transport service to the total cost of owning it. The railway transport system of the Russian Federation, as one of the leaders of the world transport system, has every opportunity to actively participate in global restructuring in response to the global climate and environmental crises.

Aim: Determination of the relationship between the adoption of a sustainable development policy and the effectiveness of the implementation of projects for the development of backbone infrastructure in Russia. We confirm that the activities of transport companies within the framework of the established sustainable development goals (hereinafter referred to as ESG – Environmental, Social, and Corporate Governance) contributes to the improvement of their operational activity.

Methods: The research methodology is based on the analysis of international approaches and assessment criteria for ESG factors using analytical procedures to identify cause-and-effect relationships of the strategy for the development of railway transport in the Russian Federation within the framework of ESG. The information base of the study is based on an analysis of reports from international organizations and data from JSC “Russian Railways” in terms of funding, expected prospects and effects.

Results: as a result of the study, the conditions for the transformation of the sustainable development of railway transport systems in the world and in the Russian Federation were determined against the background of changes in the geography and structure of commodity markets, favorable prospects were established from the direct participation of business in the implementation and implementation of the goals and objectives of sustainable development.

Conclusion: on the basis of the study, an assessment was made of the benchmarks of JSC “Russian Railways” in the sustainable development strategy. In order to implement environmental infrastructure projects, the parameters of the compliance of the strategy for the development of railway transport in Russia with the goals of sustainable growth have been established.

Key words: sustainable development, mobility ecosystem, rail transport.

ВВЕДЕНИЕ

Последние несколько лет кардинальным образом изменили сущность транспортных систем в целом и прежде всего, железнодорожного транспорта. Это связано с масштабным социальным, технологическим и экономическим сдвигом на рынке транспортных услуг, формируемым новой моделью потребления. Появляются новые рынки товаров и услуг, разрушаются и модифицируются старые. Существенно меняется география, структура и виды перевозок. Транспортная система переходит в формат экологичной (безопасной), социальной (высокомобильной) и экономической системы [1–3].

Это связано с дискретным переходом от одного экономического уклада к другому. Несмотря на огромное многообразие новых механизмов конструирования современной экономической системы, ее целостность и непротиворечивость обусловлена тенденцией общественного сознания и поведения в сторону устойчивого развития, что подразумевает равновесное состояние социальных, экономических и экологических элементов системы, имеющих непосредственное отношение к инновационному формату глобального развития человечества, а именно создание новых условий существования в сохраненной техносфере, нравственном потреблении и распределении ресурсов.

Объявленные в 2015 году Цели в области устойчивого развития (далее по тексту – ЦУР) сместили ключевую микроэкономическую модель систематического роста доходности и прибыльности. Они установили связи между их достижением и инвестициями, изменив траектории глобальных рынков капитала. Речь идет о 17 целях устойчивого развития (ЦУР) и 169 задач к ним. Инвесторы оценивают их эффективность в системе 230 показателей, и 192 страны подписались под этим документом.

Вопросы устойчивого развития уже давно находятся в зоне внимания российского бизнес-сообщества, однако остается много не решенных проблем. Прежде всего нет исследований, доказывающих эффективность решений устойчивого развития инфраструктурных отраслей экономики и, в частности, транспорта. При этом, для российских транспортных компаний как никогда стоит проблема привлечения инвестиций в проекты развития магистральной инфраструктуры с длительными сроками реализации и невысокой нормой доходности. Особенно эта проблема обострилась в последнее время, когда пандемия обрушила бюджеты и темпы роста большинства стран мира:

- текущие инвестиционные тенденции \$ 10,2 трлн;
- необходимые инвестиции \$ 11,3 трлн;
- инвестиционный разрыв \$ 1,1 трлн.

Одновременно мы видим, что в мире меняются инвестиционные стратегии [4].

Они ориентируются в большей степени на проекты «устойчивого развития», способствующие разрешению комплексных проблем оптимального баланса между экономическим, экологическим и социальным развитием. Причем, «устойчивое развитие» обязательно связано с экономическим ростом национальных экономик, бизнеса и международных корпораций.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является определение взаимосвязи между принятием политики устойчивого развития и эффективностью реализации проектов развития магистральной инфраструктуры на базе экосистемы мобильности будущего в России. Наша задача – доказать, что деятельность транспортных организаций в рамках ESG способствует росту добавленной стоимости и улучшению их операционной деятельности.

Материалами исследования послужили отчеты международных банков развития в части зеленого инвестирования и деятельность таких фондов как Климатический инвестиционный фонд (CIF), Целевой фонд Глобального экологического фонда (GEF), Глобальный фонд энергоэффективности и возобновляемых источников энергии (GEEREF) [5]. За основу приняты критерии Green Bond Database Methodology [6], пресс-релиз Банка России от 06.08.20 «Изменение климата: влияние на финансовый сектор» [7].

Если оттолкнуться от данных Global Infrastructure Hub на ближайшее десятилетие, то мировые потребности в финансировании инфраструктуры для поддержания устойчивого развития к 2030 году составят как минимум \$ 296 млрд (около 0,3 % мирового ВВП), или порядка 10 % от оценочных расходов, произведенных в том же году. По оценкам экспертов, к 2040 году необходимо будет вкладывать дополнительно порядка 0,6 % глобального ВВП, или около \$ 819 млрд.

По данным исследования Группы Всемирного банка 2018 года, России для перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) в рамках «экологизации» и «декарбонизации» экономики потребуется финансирование в размере около 4–8 трлн руб. (учитывая такую необходимость и для промышленности). Причем по оценкам, приведенным в этом исследовании, инвестиции к 2020 году с учетом климатических факторов должны были составить порядка \$ 9,3 млрд в ВИЭ и \$ 47 млрд в городскую инфраструктуру (из которых 47 % – модернизация зданий, а 13 % – транспорт). Это включает проекты в энергетической сфере,

утилизации отходов, очистке воды, транспорте, строительстве. Всемирный банк в числе прочего указывает, что переход к зеленой экономике в России возможен через развитие «зеленых» государственных закупок, особенно с учетом того, что госзаказчики – значимый сегмент потребления в стране с рынком, составляющим порядка трети ВВП.

При расчете применяются Индексы РСПП (Рис. 1) в области устойчивого развития – в настоящее время это основной самостоятельный инструмент независимой оценки компаний РФ, который включается в Международную базу по рейтингам устойчивого развития (GISR).

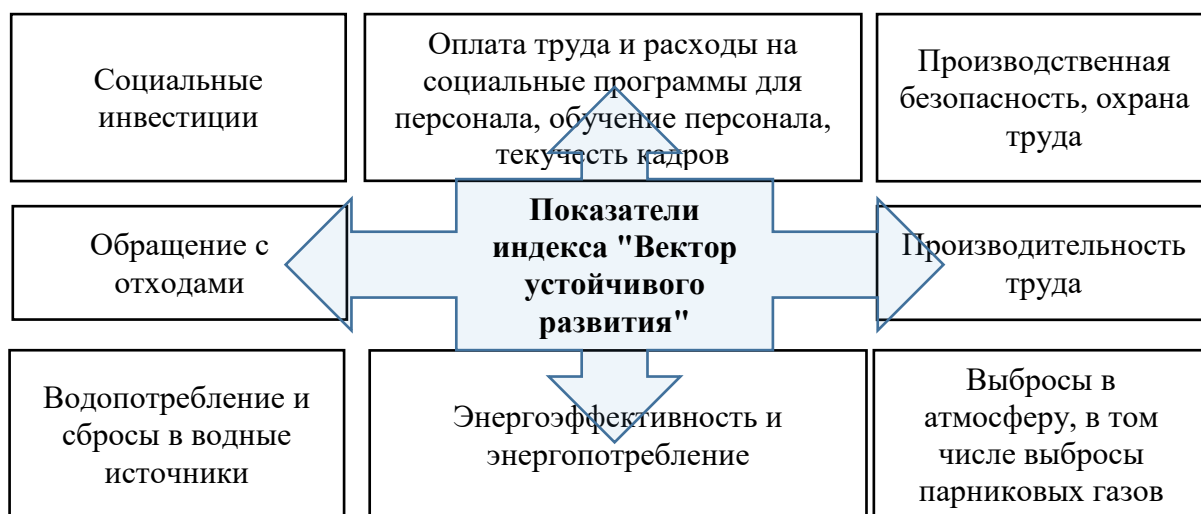


Рис. 1. Показатели индекса «Вектор устойчивого развития»

При формировании методики составления индексов учитывались как международный подход к данной проблеме, так и критерии оценки по ESG-факторам, что позволило расширить формат применения индексов в области устойчивого развития посредством разработки и включения отраслевых и тематических индексов, что также отражено в нашем исследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Определены условия трансформации устойчивого развития железнодорожных транспортных систем в мире и РФ на фоне изменения географии и структуры товарных рынков.

Успешные стратегии транспортных организаций связаны с экономической категорией «время». Ценность времени, превращаемая в скорость, в том числе, скорость выхода на рынок с новыми транспортными услугами, скорость ввода проектов ВСМ, скорость доставки грузов. Время

как экономическая категория переносит акцент ценности с первоначальной цены приобретаемого товара или услуги на общую стоимость владения им.

Владение эффективной услугой по перевозке обеспечивается в том случае, когда долговременная кривая средних издержек ТЛС приобретает нисходящий характер. В случае с железнодорожными транспортными системами это возможно, когда проекты высокоскоростного движения подтверждают эффект роста доходности, обусловленного увеличением плотности сети и скоростью перемещения. Эксплуатационные удельные издержки снижаются по мере увеличения производительности железнодорожной линии, поскольку фиксированная стоимость предоставления рельсовых путей распределяется на все большее число единиц перевозок. Для обнаружения эффекта скорости железнодорожной сети требуется высокая степень использования инфраструктуры при росте скорости перевозки: чем выше степень использования, тем лучше экономика инфраструктуры, тем большая доходность может быть обеспечена ее владельцу и пользователю. В современных условиях развитие инфраструктуры обеспечивается за счет факторов, представленных на Рис. 2.

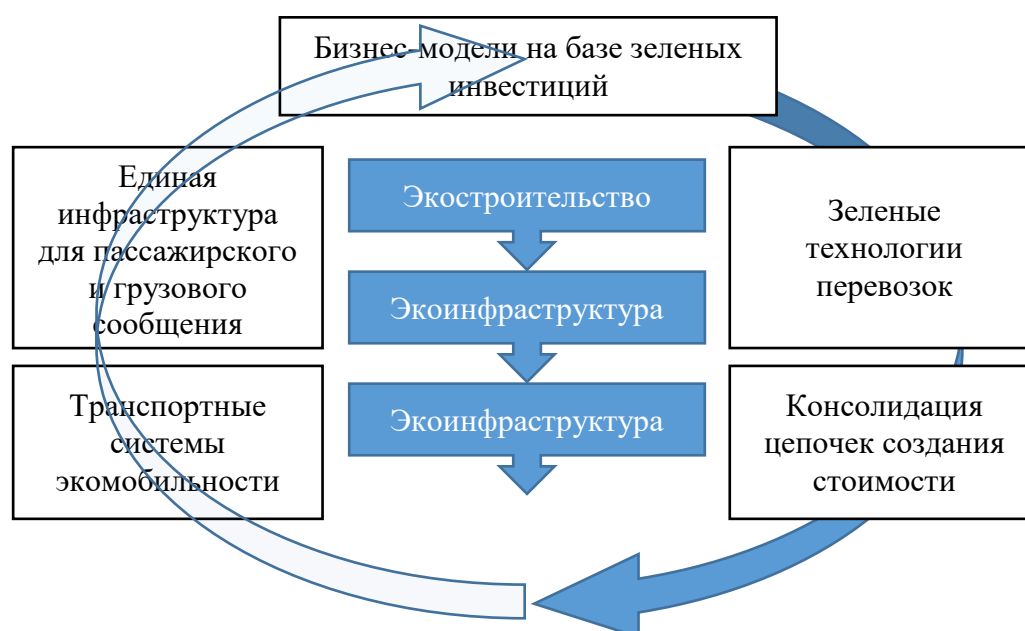


Рис. 2. Факторы, обеспечивающие развитие инфраструктуры

2. Установлены благоприятные тенденции от прямого участия бизнеса во внедрении и реализации целей устойчивого развития

По оценке Global Infrastructure Hub [8], России на покрытие нехватки средств на устойчивое развитие (в части энергетики и водных ресурсов) понадобится не менее \$ 1 млрд вложений к 2030 году (или около 23 % от

уровня инвестиций в инфраструктуру к тому же году). К 2040 году этот разрыв может составить \$ 3,97 млрд и превысить 2 % ВВП. По нашим расчетам, России только на часть «зеленых» проектов требуется не менее 5,9–7 трлн руб. до 2024 года. В эту оценку мы включили создание инфраструктуры для переработки бытовых отходов, обновление и развитие городского общественного транспорта, минимальное благоустройство и озеленение, доведение доли возобновляемой энергетики до 4–5 % от общего объема генерации, а также минимальные необходимые мероприятия в сфере защиты и восстановления окружающей среды.

Мы ожидаем, что до половины этой суммы возьмет на себя государство в рамках существующих программ. По нашему мнению, полное финансирование экологических проектов и их эффективная реализация невозможны без привлечения бизнеса (Рис. 3). Однако польза от экологических технологий и оборудования, а также природоохранных мероприятий все же существенна. При этом компании инвестируют в них не только и, вероятно, не столько ради защиты окружающей среды, сколько для повышения своей производительности, возможности получить доступ на новые рынки, а также в рамках GR- и PR-кампаний.

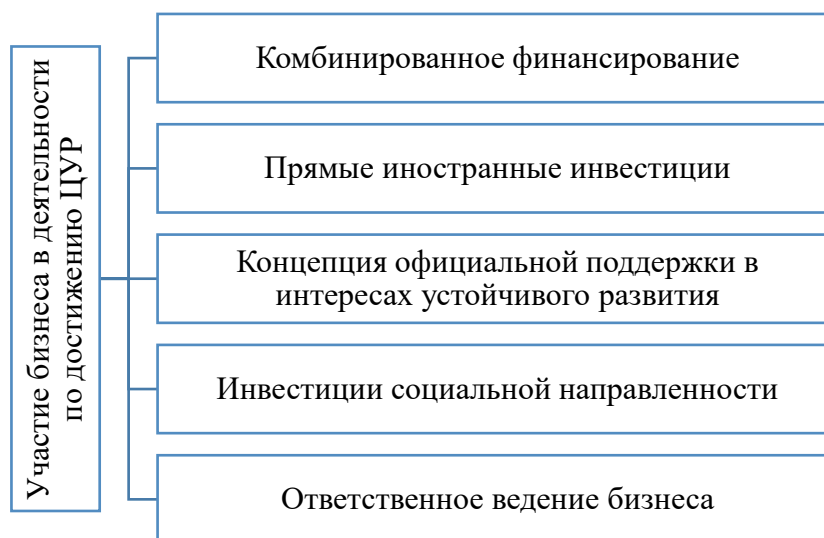


Рис. 3. Особенности вовлечения бизнеса в деятельность по достижению ЦУР

Следует отметить оценку, данную Всемирным советом предпринимателей по устойчивому развитию (WBCSD), значимости частного бизнеса в достижении целей устойчивого развития, поскольку не кто иной, как частный инвестор заинтересован в развитии и является движущей силой экономического роста, непосредственно создавая рабочие места, финансовые потоки, внедряя инновационные технологии. Таким образом, возможности компаний, применяющих принципы устойчивого

развития в своей деятельности, нарастают за счет более эффективного управления рисками, качественного прогнозирования рынка, формирования надежных и доверительных отношений с партнерами и работниками, что является гарантией определенных конкурентных преимуществ и инвестиционной привлекательности.

3. Установлены параметры соответствия стратегии развития железнодорожного транспорта России, в том числе городского рельсового транспорта, целям устойчивого роста (Рис. 4).

Национальные проекты

- "Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры"
- "Международная кооперация и экспорт"
- "Охрана окружающей среды"
- "Экономическое развитие и инновационная экономика"
- "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности"
- "Воспроизводство и использование природных ресурсов"
- "Цифровая экономика", "Международная кооперация и экспорт"

Национальные цели

- Ускорение технологического развития.
Обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий
Вхождение страны в топ-5 крупнейших экономик мира
- Ускорение технологического развития.
Обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий
Вхождение страны в топ-5 крупнейших экономик мира
- Обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий

Государственные программы

- "Развитие транспортной системы"
"Научно-технологическое развитие"
- "Экология"
- "Экономическое развитие и инновационная экономика", "Развитие внешнеэкономической деятельности", "Научно-технологическое развитие РФ"

Цели устойчивого развития

- Стойкая инфраструктура, всеохватная и устойчивая индустриализация и инновации
- Переход к рациональным моделям потребления и производства
- Укрепление средств достижения устойчивого развития и активизации работы механизмов глобального партнерства

Рис. 4. Формат соответствия стратегии развития железнодорожного транспорта РФ целям устойчивого роста

Источник: составлено автором

За девять месяцев 2020 года ситуация почти не изменилась. Освоение средств по статье «Экология» достигло только 30,4 млрд руб., или 42,2 % [9]. По этому показателю она находится на предпоследнем месте среди нацпроектов: хуже дела у «Цифровой экономики», по которой освоено только 20,6 % утвержденных денег.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новое видение экономического роста посредством инфраструктурных инвестиций и формирования рабочих мест с ориентиром на «зеленое» развитие появилось в 2007 г. после глобального мирового кризиса, когда «зеленые» отрасли экономики стран G20 приняли примерно 16 % антикризисных расходов. Эту ситуацию можно рассматривать как первичный «пилот» концепции Нового зеленого курса. На тот момент Россия не сочла возможным перейти на диверсификационный экономический курс развития. В настоящее время этот переход является не только возможным, с учетом относительно благоприятной экономической ситуации, но и необходимым, поскольку упущение возможности ухода от сырьевой зависимости может иметь необратимые последствия для национальной экономики РФ.

Проведенное исследование подтверждает, что Россия и транспортный сектор в частности достигли незначительных результатов при решении глобальных экологических проблем. При этом формат устойчивого развития железнодорожного транспорта на базе «зеленых» проектов является не только полезным в части защиты и восстановления окружающей среды, но и относительно прибыльным, поскольку предполагает наличие «зеленых» инвестиций частного бизнеса, что генерирует идею экологичного транспорта как финансово привлекательную. Фактически устойчивыми могут считаться любые инфраструктурные проекты, если они соответствуют принципам устойчивого развития. В более узком смысле – «зелеными» могут быть любые инициативы, которые удовлетворяют определенным экологическим требованиям. В мировой практике имеются факты, когда объекты инфраструктуры создавались с применением механизмов ГЧП и в дальнейшем были сертифицированы по «зеленым» стандартам.

Несомненно, смещение стереотипов развития приведет к трансформации технологий производства и потребления, что, в свою очередь, отразится на появлении новых бизнес-моделей транспортных компаний и изменении структуры стоимости транспортной услуги.

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. Wang X, Wong YD, Yuen KF, Li KX. Environmental governance of transportation infrastructure under Belt and Road Initiative: A unified framework. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020;(139):189-199. doi: 10.1016/j.tra.2020.03.001
2. Petriaev A, Svatovskaya L, Baidarashvili M, Sakharova A. Green technology with geosynthetics prevent environment from railway dangerous pollutants. In: 11th International Conference on Geosynthetics (ICG); 2018 Sep 16–21; Seoul, Korea; 2018. p. 1554-1560.
3. Svatovskaya L, Drobyshev I, Mikhailova K, Khamenok N. Criteria of green geocoprotective technologies in transport construction. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020;(50):431-440. doi: 10.1007/978-981-15-0454-9_45
4. Samir S, Venkatesh M, Haifa M, Muhammad S. Dynamic linkages between transport, logistics, foreign direct Investment, and economic growth: Empirical evidence from developing countries. *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2020;(141):277-293. doi: 10.1016/j.tra.2020.09.020
5. Annual Report 2020. [Internet]. The World Bank. [cited 2021 June 7]. Available from: <https://www.worldbank.org/en/about/annual-report>
6. Certified Bonds. Climate Bonds Initiatives. [Internet]. cited 2021 June 7]. Available from: <https://www.climatebonds.net/certification/certified-bonds>
7. Изменение климата: влияние на финансовый сектор. [Izmenenie klimata: vliyanie na finansovyy sektor. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 07.06.2021. Доступно по: <https://cbr.ru/press/event/?id=6823>
8. Global Infrastructure Hub. [Internet]. A G20 INITIATIVE. [cited 2021 June 7]. Available from: <https://www.gihub.org>
9. Инвестиции в инфраструктуру. Экология. [Investicii v infrastrukturu. Ekologiya. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 07.06.2021. Доступно по: https://infraone.ru/sites/default/files/analitika/2020/investicii_v_infrastrukturu_ekologiya_2020_infraone_research.pdf

Сведения об авторах:

Чеченова Лиана Мухамедовна, к.э.н.; доцент кафедры «Экономика транспорта»;
eLibrary SPIN: 7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454;
E-mail: liana1981-149@mail.ru

Волыхина Наталья Владимировна, старший преподаватель кафедры «Экономика транспорта»;
eLibrary SPIN: 4027-4771; ORCID: 0000-0002-5948-7226;
E-mail: natalyabatalova@yandex.ru

Information about the authors:

Chechenova Liana Muhamedovna, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Transport Economics;
eLibrary SPIN: 7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454;
E-mail: liana1981-149@mail.ru

Volykhina Natalia Vladimirovna, Senior Lecturer of the Department of Transport Economics;
eLibrary SPIN: 4027-4771; ORCID: 0000-0002-5948-7226;
E-mail: natalyabatalova@yandex.ru

Цитировать:

Чеченова Л.М., Волыхина Н.В. Тенденции устойчивого развития транспортных систем экомобильности // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 65–75. doi: 10.17816/transsyst20217465-75

To cite this article:

Chechenova LM, Volykhina NV. Trends for sustainable development of ecomobility transportation systems. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):65-75. doi: 10.17816/transsyst20217465-75

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 656

DOI 10.17816/transsyst20217476-89

© К. Б. Квитко

Вологодский научный центр РАН

(Вологда, Россия)

**СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА**

Обоснование: Транспортная кластеризация, являясь кооперацией предприятий одной территории для консолидации ресурсов для улучшения качества оказания транспортных и логистических услуг, для повышения качества инфраструктуры, для обеспечения роста транспортной доступности территории, является одним из драйверов экономического роста территории. Поэтому актуален вопрос о формировании механизма создания транспортно-логистического кластера (ТЛК), первым этапом которого является модель ТЛК.

Цель: создание структурно-логической модели транспортно-логистического кластера, реализация которой позволит создать ТЛК на любой территории, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом.

Методы: На основе исследования, обобщения и анализа трудов отечественных и зарубежных исследователей в сфере транспортной кластеризации и нормативных актов, законов и стратегических документов уточнены определения понятий составляющих ТЛК, определены основные и вспомогательные участники кластера, выявлены их функциональные взаимосвязи, определены требования к инфраструктуре ТЛК, выявлен эффект от деятельности ТЛК для участников и для территории, на которой расположен кластер.

Результаты: Результатом исследования является структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера.

Выводы: Полученная структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера позволяет развивать транспортную кластеризацию в РФ, поскольку является универсальным инструментом создания ТЛК для любой территории, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом

Ключевые слова: транспортно-логистический кластер, транспортная система, транспортная инфраструктура, транспортно-транзитный потенциал

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© К. В. Kvitko

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences

(Vologda, Russia)

STRUCTURAL AND LOGICAL MODEL OF TRANSPORT CLUSTER

Background: Transport clustering, being a cooperation of enterprises of the same territory to consolidate resources to improve the quality of transport and logistics services, to improve the quality of infrastructure, to ensure the growth of transport accessibility of the territory, is one of the drivers of economic growth of the territory. Therefore, the question of forming a mechanism for creating a transport cluster (TC) is relevant, the first stage of which is the TLC model.

Aim: creation of a structural and logical model of a transport and logistics cluster, the implementation of which will allow the creation of a TC in any territory with a high transport and transit potential.

Methods: Based on the research, generalization and analysis of the works of domestic and foreign researchers in the field of transport clustering and regulations, laws and strategic documents, the definitions of the concepts of the components of the TLC were clarified, the main and auxiliary participants of the cluster were identified, their functional relationships were identified, the requirements for the infrastructure of the TC were determined, the effect of the activity of the TC for the participants and for the territory on which the cluster is located was revealed.

Results: The result of the study is a structural and logical model of the transport cluster.

Conclusions: The obtained structural and logical model of the transport cluster allows the development of transport clustering in the Russian Federation, since it is a universal tool for creating a TC for any territory with a high transport and transit potential

Key words: transports cluster, transport system, transport infrastructure, transport and transit potential.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие транспортной отрасли в Российской Федерации имеет стратегическое значение для экономического роста страны. Транспортная коммуникация создает возможность для производственных предприятий выходить на новые рынки сбыта, расширять спектр поставщиков, повышая экономическую эффективность своей деятельности, что приводит к развитию промышленности и создает предпосылки стабильного экономического роста территории и страны в целом. Наличие транспортной инфраструктуры международных транспортных коридоров и транспортно-логистических возможностей территории для обслуживания большого грузопотока создает точку входа иностранного капитала, что развивает инвестиционный климат территории и повышает конкурентоспособность отечественных предприятий. Транспортная доступность населения улучшает социальную сферу территории, сохраняя и привлекая трудоспособное население, обеспечивая безопасность и удовлетворяя транспортные потребности населения, что также позитивно влияет на экономический рост.

Одним из направлений развития транспортной отрасли является процесс кластеризации как кооперация транспортных, логистических, производственных предприятий одной территории для консолидации

ресурсов для улучшения качества оказания транспортных и логистических услуг, для повышения качества инфраструктуры, для обеспечения роста транспортной доступности территории, что в результате приводит к социально-экономическому росту территории. По данным Высшей школы экономики [1] в России реализованы 120 кластеров по 28 отраслевым направлениям. Анализ распределения кластеров по федеральным округам России выявил корреляцию с распределением долей ВВП России: кластеров больше в тех регионах, где доля ВВП выше (Рис. 1).

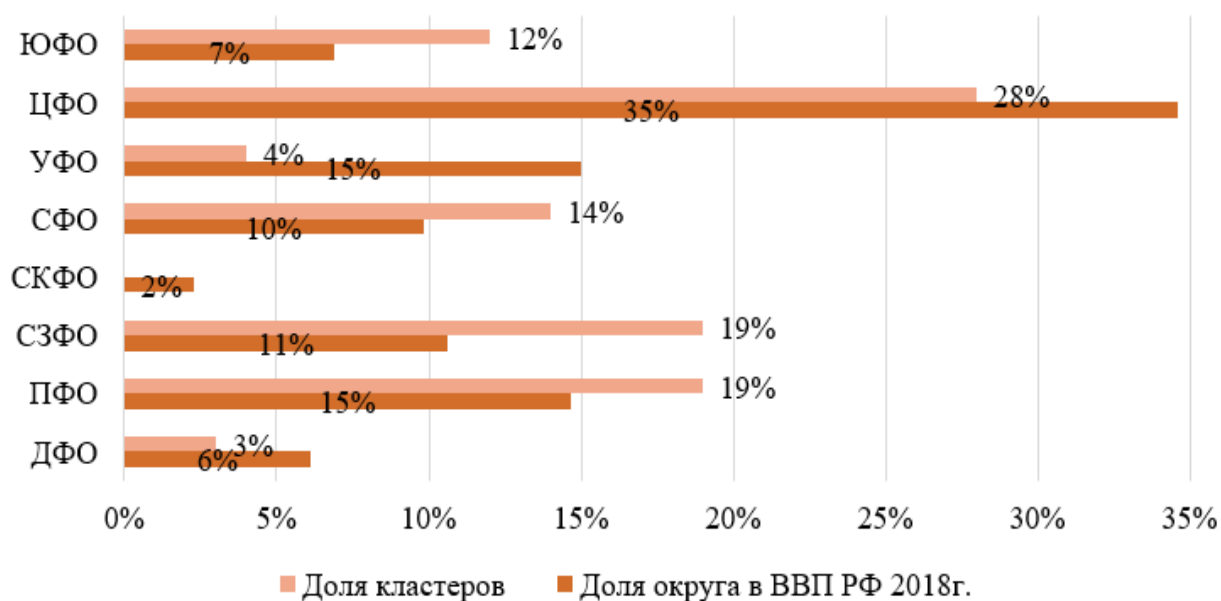


Рис. 1. Распределение кластеров и доли ВВП по федеральным округам РФ

В Российской Федерации процесс кластеризации как организационно-управленческая инновация развивается в отраслевом разрезе неравномерно. Среди 28 отраслевых направлений кластеров в РФ наиболее распространенными являются следующие разновидности: информационно-коммуникационные технологии, производство машин и оборудования, фармацевтика, микроэлектроника и приборостроение, туризм (Рис. 2). При этом транспортно-логистического кластера (ТЛК) не реализовано ни в одном регионе страны, что препятствует развитию транспортной отрасли страны и экономическому росту в целом.

Неравномерное отраслевое развитие кластеров в РФ и отсутствие транспортных кластеров частности обусловлено тем, не сформированы методические рекомендации по формированию и оценке эффективности функционирования кластеров, не создана модель кластерного объединения с описанием участников, их взаимодействия в рамках кластера, не разработан механизм управления кластером.

В связи с этим, актуальной научной проблемой является разработка структурно-логической модели транспортно-логистического кластера, как элемента социально-экономической системы, обеспечивающего экономический рост территории и страны в целом.



Рис. 2. Отраслевая структура кластеров РФ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является создание структурно-логической модели транспортно-логистического кластера, реализация которой позволит создать ТЛК на любой территории, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом.

Для реализации поставленной цели выполнены следующие задачи

исследования:

- выявлены составляющие транспортно-логистического кластера и уточнены их определения;
- определен состав участников транспортно-логистического кластера;
- сформированы требования к инфраструктуре ТЛК;
- определена роль территории в транспортно-логистическом кластере;
- сформирована структурно-логическая модель ТЛК.

Для формирования структурно-логической модели транспортно-логистического кластера, реализация которой будет способствовать развитию транспортной кластеризации в стране, исследованы составляющие понятия ТЛК, к которым относятся транспортная и логистическая инфраструктура, транспортные и логистические предприятия и транспортно-транзитный потенциал территории, на которой расположен ТЛК [2].

Для формирования структурно-логической модели транспортно-логистического кластера на основе исследования, обобщения и анализа трудов отечественных и зарубежных исследователей в сфере транспортной кластеризации [3–11] и нормативных актов, законов и стратегических документов [12–16] уточнены определения понятий составляющих ТЛК, определены основные и вспомогательные участники кластера, выявлены их функциональные взаимосвязи, определены требования к инфраструктуре ТЛК, выявлен эффект от деятельности ТЛК для участников и для территории, на которой расположен кластер.

АНАЛИЗ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЛК

По результатам исследования трудов отечественных и зарубежных ученых в области транспортной кластеризации [3–8] выявлено, что одной из проблем формирования транспортно-логистического кластера на территории РФ является отсутствие однозначного и принятого научным сообществом и реальным сектором экономики определения составляющих кластера, его участников, функциональных взаимосвязей между ними. Эта проблема имеет ряд причин, связанных с развитием отечественной экономической науки, законодательством в сфере транспорта и логистики, стратегического транспортного планирования РФ.

Во-первых, в отечественной экономической науке сложилось два подхода разных научных школ к определению транспортной и логистической инфраструктуры. Транспортный подход характеризует транспортную инфраструктуру как элемент транспортной системы, обеспечивающий передвижение транспортных средств. В свою очередь, логистическая инфраструктура, согласно транспортному подходу, является системой взаимодействия складской инфраструктуры с подвижным

составом, определяется как система поставок груза, как элемент транспортной системы.

Согласно логистическому подходу, транспортная инфраструктура является частью логистической инфраструктуры, которая в свою очередь является комплексом взаимосвязанных элементов: транспортировки, складирования и информационного обеспечения логистики. Такое расхождение в подходах научных школ накладывает ограничение на развитие процесса транспортной кластеризации в России, поскольку нет единого научного мнения о сущности понятий составляющих ТЛК. В рамках исследования используется транспортный подход, и понятия транспортной и логистической инфраструктуры являются не элементами друг друга, а составляющими частями транспортной системы.

Вторая причина проблемы определения составляющих транспортно-логистического кластера и их обособление заключается в отсутствии единого законодательства в сфере транспорта и логистики, регламентирующего деятельность транспортных и логистических предприятий, функционирования и обслуживания транспортной и логистической инфраструктуры. В настоящее время транспортное законодательство в России разрозненно и представляет собой перечень нескольких законотворческих форм, таких как кодексы (Водный кодекс РФ, Воздушный кодекс РФ и др.), федеральные законы (например, №170-ФЗ «О техническом осмотре транспортных средств и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»), постановления (например, Постановление Правительства РФ №1090 «О Правилах дорожного движения» (ПДД)).

В настоящий момент наиболее широкими и всеохватывающими законодательными документами в сфере транспорта, в которых описана транспортная система, инфраструктура и транспортные и логистические предприятия являются (1) Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года», (2) Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года и (3) Модельный закон о транспортной деятельности, принятый в г. Санкт-Петербурге 31.10.2007 Постановлением 29-8 на 29-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ.

Согласно Модельному закону о транспортной деятельности, транспортное и логистическое предприятие по функционалу объединены в одно понятие «транспортное предприятие», в деятельность которого входит и перевозка, и хранение грузов, и погрузочно-разгрузочные работы. Поскольку функционального разделения транспортных и логистических предприятий в форме определений понятия не представлено в законодательных актах, характеризующих транспортную и логистическую

сферу в РФ, проведено исследование общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД) [13] на предмет определения перечня предприятий, которые по номеру ОКВЭД относятся к транспортным и логистическим предприятиям по функционалу использования и обслуживания транспортной и логистической инфраструктуры соответственно (Табл.).

Таблица. Разделение транспортных и логистических предприятий по ОКВЭД

Транспортные предприятия	
Код ОКВЭД 49.1	Деятельность железнодорожного транспорта: междугородные и международные пассажирские перевозки
Код ОКВЭД 49.2	Деятельность железнодорожного транспорта: грузовые перевозки
Код ОКВЭД 49.3	Деятельность прочего сухопутного пассажирского транспорта
Код ОКВЭД 49.4	Деятельность автомобильного грузового транспорта и услуги по перевозкам
Код ОКВЭД 49.5	Деятельность трубопроводного транспорта
Код ОКВЭД 50.2	Деятельность морского грузового транспорта
Код ОКВЭД 50.4	Деятельность внутреннего водного грузового транспорта
Код ОКВЭД 51.1	Деятельность пассажирского воздушного транспорта
Код ОКВЭД 51.21	Деятельность грузового воздушного транспорта
Логистические предприятия	
Код ОКВЭД 52.1	Деятельность по складированию и хранению
Код ОКВЭД 52.21	Деятельность вспомогательная, связанная с сухопутным транспортом
Код ОКВЭД 52.22	Деятельность вспомогательная, связанная с водным транспортом
Код ОКВЭД 52.23.1	Деятельность вспомогательная, связанная с воздушным транспортом
Код ОКВЭД 52.24	Транспортная обработка грузов

Таким образом, согласно анализу общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД), в рамках этого исследования под транспортным предприятием понимается юридическое лицо, занятое хозяйственно-коммерческой деятельностью по перевозке грузов, пассажиров, багажа и почты, техническому обслуживанию и ремонту транспортных средств, а под логистическим предприятием понимается юридическое лицо, занятое хозяйственно-коммерческой деятельностью по складированию и хранению груза, транспортной обработкой груза, портовому обслуживанию и другой вспомогательной деятельностью процесса транспортировки.

Транспортно-транзитный потенциал территории, третья составляющая транспортно-логистического кластера, представляет собой совокупность внешних и внутренних условий и факторов, которые определяют возможности региона предоставлять услуги межрегиональных перевозок по своей территории и выступающих источником дохода для хозяйствующих субъектов и страны в целом. Значение транспортно-транзитного потенциала территории определяет не только уровень развития транспортной отрасли на территории, но и возможности для создания транспортно-логистического кластера.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТНИКОВ ТЛК

Участники транспортно-логистического кластера разделяются на две группы: основные и вспомогательные по степени участия в транспортировке, распределении и хранении груза – основных процессов ТЛК.

Для организации и успешного функционирования транспортно-логистического кластера на территории к основным участникам ТЛК помимо транспортных и логистических относятся промышленные предприятия, поскольку они являются заказчиками и получателями транспортных и логистических услуг, и уровень их спроса и предложения на перемещение, хранение и распределение груза определяет объем транспортной и логистической деятельности в регионе.

К вспомогательным участникам ТЛК относятся экономические субъекты, которые напрямую не участвуют в транспортной и логистической деятельности кластера, но оказывают сопутствующие услуги, без которых эффективного функционирования ТЛК в регионе невозможно. К ним относятся (1) **федеральные и региональные органы власти**, реализующие социально-экономическую политику государства и региона, в частности, участвующие в разработке и реализации национальных проектов по развитию транспорта и промышленности, осуществляющие поддержку малого и среднего бизнеса, реализующие модернизацию и строительство новых объектов транспортной инфраструктуры федерального и муниципального значения; (2) **научные и образовательные учреждения региона**, осуществляющие подготовку кадров для транспортных, логистических и промышленных предприятий, а также для экономики территории в частности, реализующие НИОКРы и инновационные разработки и коммерциализирующие их в новые технологии производства и оказания транспортных и логистических услуг; (3) **машиностроительные, строительные, дорожные и ремонтные предприятия**, чья деятельность направлена на поставку продукции и оказание услуг транспортным предприятиям, складским терминалам,

транспортным хозяйствам промышленных предприятий, что обслуживает и модернизирует складскую и дорожную инфраструктуру, подвижной состав.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТЛК

Для организации транспортно-логистического кластера необходима инфраструктура, которая позволяет организовать мультимодальные перевозки, особенностью которых является повышение эффективности транспортной деятельности, снижение транспортных издержек, повышение качества транспортировки, безопасности и сохранности груза из-за использования одной тары на подвижном составе разных видов транспорта. Поэтому для деятельности ТЛК необходима организация самых распространенных видов транспорта, коллаборация которых создает мультимодальные перевозки на любой территории, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом.

К таким видам транспорта относится автомобильный как наиболее распространенный вид, водный, имеющий самую низкую себестоимость транспортных расходов, и железнодорожный, позволяющий перемещать тары максимальной среди других видов транспорта грузоподъемности. Объединение транспортной инфраструктуры этих видов транспорта со складской инфраструктурой локализовано в *транспортно-логистических комплексах* [9]. Помимо транспортной и логистической, в этих комплексы также входит офисная инфраструктура, обеспечивающая сервисные функции и участвующая в обслуживании клиентов, транспортных и логистических брокеров и других участников процессов перевозки, распределения и хранения грузов в комплексе.

Участие транспортных, логистических и промышленных предприятий в транспортно-логистическом кластере, совместное использование и обслуживание транспортной, логистической и офисной инфраструктурой транспортно-логистического комплекса позволяет получить ряд преимуществ перед экономическими субъектами, не вступившими в ТЛК, а именно:

- снижение транспортных и логистических издержек за счет аккумуляционного эффекта совместного использования инфраструктурой транспортно-логистического комплекса, возможности организации мультимодальных перевозок, объединяя автомобильный, железнодорожный и водный виды транспорта;
- уникальный доступ к исследовательским разработкам научных и образовательных организаций, которые реализуют проекты в рамках сотрудничества с транспортно-логистическим кластером, возможность первыми коммерциализировать новые технологии и получить преимущество на рынке транспортных и логистических услуг, а также

формирование кадрового резерва и увеличение кадрового потенциала предприятий по единым образовательным программам, необходимым транспортным, логистическим и промышленным предприятиям региона;

- для промышленных предприятий вступление в ТЛК и получение качественных транспортных и логистических услуг в своем регионе дает возможность снизить сроки поставки покупных позиций и своей продукции, повысить безопасность транспортировки и сохранность груза, поскольку груз отправляется из своего региона напрямую заказчику, а не через транспортные хабы, что в свою очередь повышает качество конечного продукта, производимого промышленными предприятиями территории.

ЗНАЧЕНИЕ РЕГИОНА В ТЛК

Роль региона в транспортно-логистическом кластере многообразна и имеет ряд аспектов:

- территориально-географические особенности местности: ландшафт (горы, вечная мерзлота, болота, озерность, равнинность и др.), выход к морю, климат и др.;
- социально-экономические особенности: уровень развития транспортной коммуникации, промышленности, образования, кадровый, инновационный, инвестиционный потенциал территории, обеспеченность сырьевыми ресурсами и др.;
- политические особенности: граница с другими государствами, геополитическая обстановка на территории, а также политика региона в области развития транспорта, промышленности, инфраструктуры.

Для территории организация и функционирование ТЛК увеличивает грузопоток, проходящий через регион, улучшает транспортную и логистическую инфраструктуру региона, что приводит к ряду положительных социально-экономических эффектов, которые оказывают влияние и на основных, и на вспомогательных участников кластера.

ВЫВОДЫ

Графически участники транспортно-логистического кластера, их функциональные взаимосвязи и получаемые эффекты от этих взаимодействия описаны в структурно-логической модели транспортно-логистического кластера (Рис. 3).

Данная модель описывает набор элементов, их взаимосвязь и ожидаемый эффект от взаимосвязи основных и вспомогательных участников транспортно-логистического кластера на любой территории, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом.

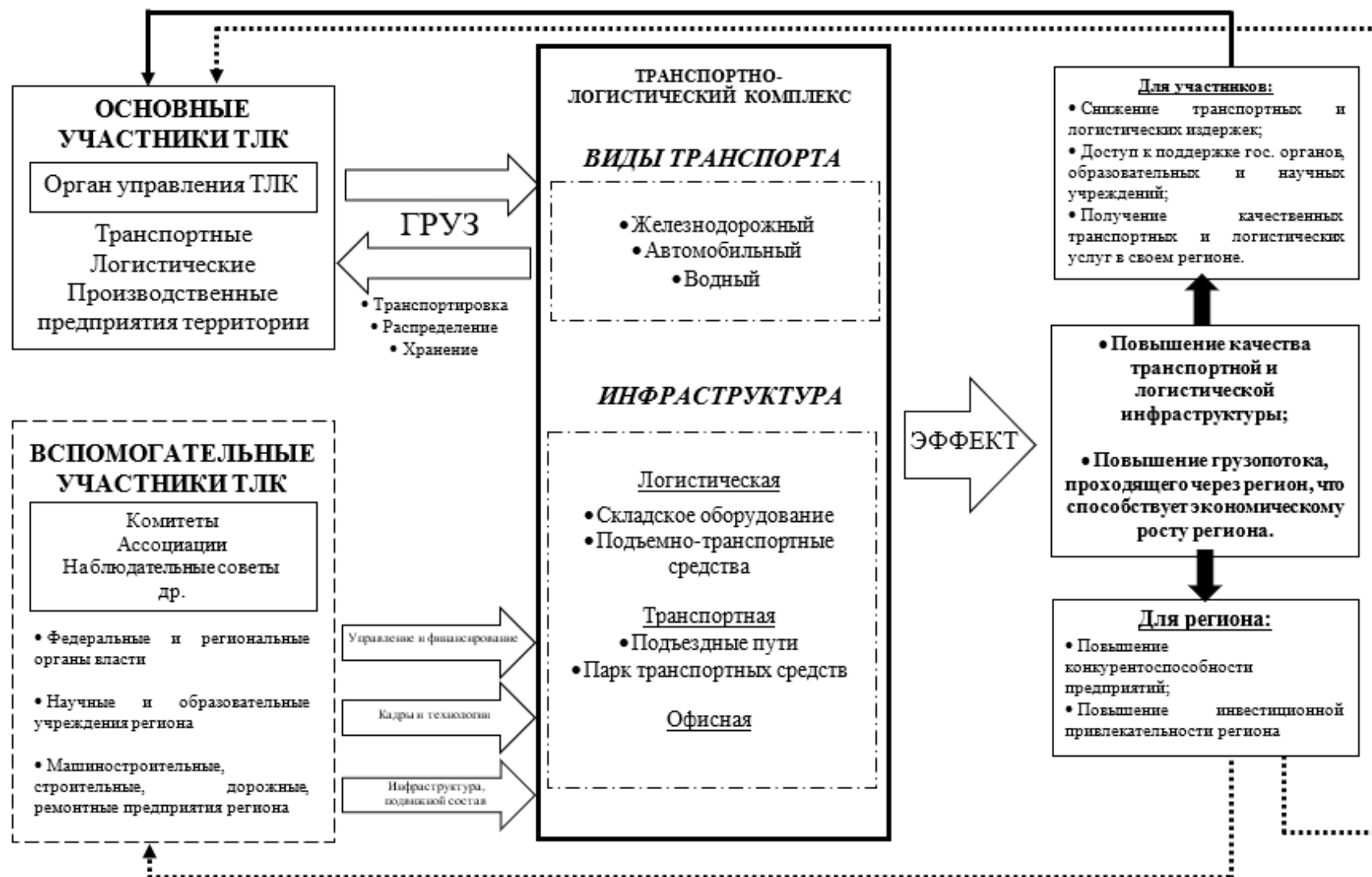


Рис. 3. Структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера позволяет организовать ТЛК на любой территории страны, обладающей высоким транспортно-транзитным потенциалом, повысит конкурентоспособность предприятий региона, создаст источник улучшения инвестиционного климата территории, улучшит социальную сферу и создаст основу стабильному экономическому росту территории.

Основные выводы и рекомендации исследования могут быть использованы региональными и муниципальными органами власти и управления при осуществлении своей деятельности по развитию транспортной кластеризации и пространственного развития территории, при разработке новых и корректировке существующих программ социально-экономического развития, нормативно-правовых актов и программно-целевых документов, касающихся транспортной сферы, а также в образовательном процессе по специальности «Менеджмент», «Инноватика» по направлениям «Транспортная логистика», «Логистика и управление цепями поставок», «Управление транспортными технологиями».

РЕКОМЕНДАЦИЯ К ПЕЧАТИ

Научный руководитель, профессор факультета технологического менеджмента и инноваций, Университет ИТМО, д.э.н., профессор Будрина Елена Викторовна подтверждает, что статья аспиранта 3 курса ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» Квитко Катерины Борисовны соответствует по содержанию, структуре и оформлению требованиям, предъявляемым к научным статьям и рекомендует ее к публикации в рецензируемом научном журнале «Инновационные транспортные системы и технологии».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Карта кластеров России. НИУ ВШЭ. [Karta klasterov Rossii. NIU VSHE. (In Russ.)]. Ссылка активна на 17.05.2021. Доступно по: <https://map.cluster.hse.ru/list>
2. Квитко К.Б. Сравнительный анализ международных транспортных систем: инфраструктура, рейтинги, транспортные коридоры // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 15–29. [Kvitko KB. Comparative Analysis of International Transport Systems: Infrastructure, Ratings, Transportation Corridors. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(1):15-29. (In Russ.)]. doi: 10.17816/transsyst20206115-29
3. Магомедов А.М. Транспортная подсистема в логистической системе региона

- // Управление экономическими системами. – 2013. – № 11 (59). – С. 15–25. [Magomedov AM. Transport subsystem in logistics systems region. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami*. 2013;11(59):15-25. (In Russ.)].
4. Меньшенина И.Г., Капустина Л.М. Кластерообразование в региональной экономике: монография. Федер. агентство по образованию, Урал. гос. экон. ун-т. – Екатеринбург: Урал. гос. экон. ун-т, 2008. – 154 с. [Men'shenina IG, Kapustina LM. *Klasteroobrazovanie v regional'noj ekonomike: monografiya*. Feder. agentstvo po obrazovaniyu, Ural. gos. ekon. un-t. Ekaterinburg: Ural. gos. ekon. un-ta, 2008. 154 p. (In Russ.)].
 5. Гриценко С.И. Транспортно-логистические кластеры в Украине: пути становления и развития [Монография] – СПб.: СПбГУЭФ, 2009. – 218 с. [Gricenko SI. *Transportno-logisticheskie klasteri v Ukraine: puti stanovleniya i razvitiya*. St. Petersburg: SPbGUEF; 2009. 218 p. (In Russ.)].
 6. Прокофьева Т.А., Хаиров Б.Г. Логистические кластеры в экономике России: Монография / Под общей редакцией д.э.н., профессора Т.А. Прокофьевой. – М.: ОАО «ИТКОР», 2016. – 418 с. [Prokof'eva TA, Hairon BG. *Logisticheskie klasteri v ekonomike Rossii*. Moscow: ITKOR; 2016. 418 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 12.12.2021. Доступно по: <https://docplayer.com/90833117-T-a-prokofeva-b-g-hairov-logisticheskie-klasteri-v-ekonomike-rossii.html>
 7. Панченко Т.Ф. Туристичне середовище: архітектура, природа, інфраструктура. – Киев: Логос, 2009. – 176 с. [Panchenko TF. *Turistichne seredovishche: arhitektura, priroda, infrastruktura*. Kiev: Logos; 2009. (In Ukr.)]. Ссылка активна на: 12.12.2021. Доступно по: Microsoft Word - 19 (knuba.edu.ua)
 8. Герами В.Д., Колик А.В. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2015. – 510 с. [Gerami VD, Kolik AV. *Upravlenie transportnymi sistemami. Transportnoe obespechenie logistiki: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata*. Moscow: Yurajt; 2015. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 12.12.2021. Доступно по: <https://urait.ru/book/upravlenie-transportnymi-sistemami-transportnoe-obespechenie-logistiki-448343>
 9. Султанов А.Г. Интеграция транспортно-логистических кластеров в систему национальных и международных транспортных коридоров: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук (08.00.05) / Султанов Абдулазиз Газимагомедович, Институт исследования товародвижения и конъюнктуры рынка. – М., 2017. – 22 с. [Sultanov AG. *Integraciya transportno-logisticheskikh klasterov v sistemu nacional'nyh i mezhdunarodnyh transportnyh koridorov: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. ekon. nauk (08.00.05)* / Sultanov Abdulaziz Gazimagomedovich, Institut issledovaniya tovarodvizheniya i konyunktury rynka. Moscow; 2017. (In Russ.)].
 10. Растворцева С.Н., Снитко Л.Т., Череповская Н.А. Методика оценки экономического потенциала для развития кластеров в регионе // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 30 (219). – С. 20–32. [Rastvorceva SN, Snitko LT, Cherepovskaya NA. *Metodika ocenki ekonomicheskogo potenciala dlya razvitiya klasterov v regione. Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2013;30(219):20-32. (In Russ.)].
 11. Лукинский В.С., Лукинский В.В., Пластуняк И.А., Плетнева Н.Г. Транспортировка в логистике: учеб. пособие. – СПб: СПбГИЭУ, 2005.

- [Lukinskij VS, Lukinskij VV, Plastunyak IA, Pletneva NG. *Transportirovka v logistike*. St. Petersburg: SPbGIEU; 2005. (In Russ)]. Ссылка активна на: 12.12.2021. Доступно по: https://www.studmed.ru/lukinskiy-vs-transportirovka-v-logistike_bfaf7d46cb4.html
12. Модельный закон о транспортной деятельности. Принят в г. Санкт-Петербурге 31.10.2007 Постановлением 29-8 на 29-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ. [Model'nyj zakon o transportnoj deyatel'nosti. Prinyat v g. Sankt-Peterburge 31.10.2007 Postanovleniem 29-8 na 29-om plenarnom zasedanii Mezhparyamentskoj Assamblei gosudarstv-uchastnikov SNG. (In Russ.)].
 13. ОКВЭД 2 2020 с расшифровкой кодов по видам деятельности. [OKVED 2 2020 s rasshifrovkoj kodov po vidam deyatel'nosti (In Russ.)]. Ссылка активна на 29.08.2020. Доступно по: <https://regforum.ru/okved>
 14. Правительство России. Национальные проекты. [Pravitel'stvo Rossii. Nacional'nye proekty (In Russ.)]. Ссылка активна на 17.10.2020. Доступно по: <http://government.ru/rugovclassifier/660/events/>
 15. Национальная технологическая инициатива. [Nacional'naya tekhnologicheskaya iniciativa (In Russ.)]. Ссылка активна на 18.10.2020. Доступно по: <https://nti2035.ru/>
 16. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. [Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda (In Russ.)]. Ссылка активна на 18.10.2020. Доступно по: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/3/1009>

Сведения об авторе:

Квитко Катерина Борисовна, аспирант;

eLibrary SPIN: 3109-1917; ORCID: 0000-0003-4396-2755;

E-mail: kbkvitko@mail.ru

Information about the author:

Katerina B. Kvitko, postgraduate student;

eLibrary SPIN: 3109-1917; ORCID: 0000-0003-4396-2755;

E-mail: kbkvitko@mail.ru

Цитировать:

Квитко К.Б. Структурно-логическая модель транспортно-логистического кластера // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 76–89. doi: 10.17816/transsyst20217476-89

To cite this article:

Kvitko KB. Structural and logical model of transport cluster. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):76-89 doi: 10.17816/transsyst20217476-89

Рубрика 4. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

УДК [UDC] 334.021; 656.2

DOI 10.17816/transsyst20217490-105

© А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(Россия, Москва)

ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Обоснование: Объектом исследования являются региональные и глобальные грузоперевозки. Для того, чтобы грузоперевозки связывали национальную экономику в единое целое, а также позволяли реализовать её экспортные возможности, уровень организованности железнодорожного транспорта должен быть значительно выше, чем у других участников рынка (прежде всего грузоотправителей и грузополучателей).

Цель: исследование перспектив повышения роли железнодорожного транспорта с помощью цифровых технологий.

Методы: Для моделирования роли железнодорожного транспорта на национальном и глобальном уровнях в статье использована концепция всеобщей организационной науки А.А. Богданова (Тектология). Для моделирования роли железнодорожного транспорта на микроуровне использована Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Результаты: Железнодорожный транспорт рассмотрен как система, состоящая из подсистем: «рабочий орган», «трансмиссия», «двигатель» и «вычислитель». Каждой из этих подсистем соответствуют отдельные подразделения железнодорожного транспорта. Цифровизация предполагает передачу от человека к автоматизированным системам прежде всего функций такой подсистемы, как «рабочий орган», который функционирует по одному и тому же алгоритму и в силу этого отличается предельной рутинностью. Это упрощает и делает более предсказуемой производственную деятельность соответствующих подразделений железнодорожного транспорта, что в свою очередь создает возможность для повышения сложности других подсистем.

Заключение: Железнодорожный транспорт изначально создавался как сложная макросистема, основанная на самых передовых технологиях и значительно опережающая в своем развитии другие отрасли. В силу этого он был способен кардинально повысить уровень сложности тех территорий, которых он достигал. Однако сегодня железнодорожный транспорт испытывает возрастающую конкуренцию со стороны других видов транспорта, в связи с чем от железнодорожного транспорта требуются качественно новые меры по обеспечению опережающего развития. Для этого предлагается применять цифровизацию к процессу физического перемещения грузов, как к единому целому: от фиксации потребности в перевозках у грузоотправителей до доставки грузов непосредственно к производственным участкам грузополучателей. В этом случае главным конкурентным преимуществом железнодорожного транспорта становится «вычислитель».

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, экономика, добавленная стоимость, отрасль, груз, дорога, услуга, ТРИЗ, Тектология, цифровые технологии

Rubric 4. TRANSPORT ECONOMICS

© A. B. Kosarev, O. N. Rinskaya, I. V. Anokhov

JSC Russian Scientific Research Institute of Railroad Transport
(Moscow, Russia)**ADVANCING THE DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT
WITH THE HELP OF DIGITAL TECHNOLOGIES****Background:** The object of the study is regional and global cargo transportation.

In order for cargo transportation to link the national economy into a single whole, and also allow it to realize its export opportunities, the level of organization of railway transport should be significantly higher than that of other market participants (primarily shippers and consignees).

Aim: to study the prospects for increasing the role of railway transport with the help of digital technologies.

Methods: To model the role of railway transport at the national and global levels, the article uses the concept of general organizational science by A. A. Bogdanov (Tectology). The Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) is used to model the role of railway transport at the micro level.

Results: Railway transport is considered as a system consisting of subsystems: "working body", "transmission", "engine" and "computer". Each of these subsystems corresponds to separate divisions of railway transport. Digitalization involves the transfer from a person to automated systems, first of all, the functions of such a subsystem as a "working body", which functions according to the same algorithm and, therefore, is extremely routine. This simplifies and makes more predictable the production activities of the relevant departments of railway transport, which in turn creates the opportunity to increase the complexity of other subsystems.

Conclusion: Railway transport was originally created as a complex macro system based on the most advanced technologies and significantly ahead of other industries in its development. Because of this, he was able to dramatically increase the level of complexity of the territories that he reached. However, today railway transport is experiencing increasing competition from other modes of transport, and therefore qualitatively new measures are required from railway transport to ensure advanced development. To do this, it is proposed to apply digitalization to the process of physical movement of goods as a whole: from fixing the need for transportation from shippers to delivering goods directly to the production sites of consignees. In this case, the main competitive advantage of railway transport becomes the "computer".

Key words: transport, railway, economy, added value, industry, cargo, road, service, TRIZ, Tectology, digital technologies

ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация на железной дороге началась задолго до возникновения понятий «цифровая экономика» и «интернет вещей». Например, еще в 1972 г. начала работать первая российская

автоматизированная система продажи билетов «Экспресс–1»¹. Кроме того, некоторые цифровые технологии (например, система сигнализации, передающая информацию о сигнале светофора в кабину локомотива и др.) применяются уже десятки лет. Подобных примеров можно привести достаточно много [1–3]. В результате сегодня железнодорожная система России является одной из лучших в мире по исполнению графика движения пассажирских поездов.

Среди современных трендов цифровизации железнодорожного транспорта можно выделить четыре основных направления:

- мультимодальные перевозки;
- клиентоориентированность;
- применение новых бизнес-моделей и участие в бизнес-сетях;
- работа с данными.

Основополагающими документами цифровой трансформации российской экономики и железнодорожного транспорта являются «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [4], программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [5] и Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года [6].

Цифровые проекты на российских железных дорогах направлены на оптимизацию инфраструктуры и пассажиропотока, грузовых перевозок, работу с подвижным составом, персоналом, что поможет строить умные локомотивы, экономить время и финансы.

Перевозки грузов, в том числе контейнерные перевозки, являются самой прибыльной статьей дохода российских железных дорог. От перевозочных видов деятельности ОАО «РЖД» в 2020 г. получило прибыль в размере 99 млрд руб. (143 млрд руб. в 2019 г.), в том числе 131 млрд руб. от грузовых перевозок (153 млрд руб. в 2019 г.) и 0,98 млрд руб. от пассажирских перевозок в пригородном сообщении (в 2019 г. был убыток в размере 4 млрд руб.). Также прибыль в размере 18 млрд руб. получена от «прочих видов деятельности» (23 млрд руб. в 2019 г.)². Снижение деловой активности вполне объяснимо, пандемия коронавируса отразилась на многих видах экономической деятельности в России и мире.

В данной статье рассматриваются транспортные услуги по перевозке грузов, которые создают решетку горизонтальных связей (в понимании Н.Н. Колосовского [7]) между отдельными рыночными субъектами. В результате в национальной экономике и возникают макроэкономические материальные потоки.

¹ О первой системе продажи билетов Экспресс. Сравнение систем Экспресс-1 и Экспресс-2 https://www.1520mm.ru/pass_and_e3/express/history.phtml

² Прибыль РЖД от перевозок составила 99 млрд рублей. <https://gudok.ru/news/?ID=1555689>

Применительно к промышленности транспорт связывает в единое целое основные этапы создания добавленной стоимости:

- добыча сырья (исходный продукт);
- переработка сырья в готовый продукт (промежуточный продукт);
- оптовая и розничная продажа (конечный продукт).

Каждому из этих этапов соответствует отдельная отрасль национальной экономики. Все отрасли связываются в единое целое исключительно благодаря транспорту и это означает, что каждый рубль ВВП создан при непосредственном участии транспорта и во многом благодаря ему.

Основу грузовых перевозок в России составляют три ключевых вида транспорта: два «магистральных» (с дальними расстояниями транспортировки грузов и большими объемами грузооборота: трубопроводный и железнодорожный) и один с малыми средними расстояниями и большим тоннажем — автомобильный [8].

Целевой рынок для железнодорожного транспорта имеет следующие особенности:

- ориентация в первую очередь на перевозку негенеральных грузов, т.е. не требующих упаковки, подготовки к перевозке и загружаемых наливом, навалом или насыпью (каменный уголь, нефть, нефтепродукты, руда и др.);
- удаленность места их создания от места потребления более чем на 1 тыс. км [8, с. 7];
- значительный размер отдельной партии груза и частота перевозок таких партий, что делает их выполнение недоступным для автомобильного транспорта.

Кроме того, ключевой особенностью железнодорожного транспорта является привязка к специальной инфраструктуре, что порождает затраты по ее содержанию.

ФУНКЦИЯ ТРАНСПОРТА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТРИЗ

В самом общем виде функция транспорта заключается в связывании двух полюсов: грузоотправителя и грузополучателя, каждый из которых в терминологии А.А. Богданова можно назвать организованным комплексом (Рис. 1). Богданов определял такие комплексы, как «целое больше чем сумма его частей» [9, с. 113]. В данной статье примерами таких комплексов могут служить отдельные предприятия, ТПК, отрасли, регионы страны и др.

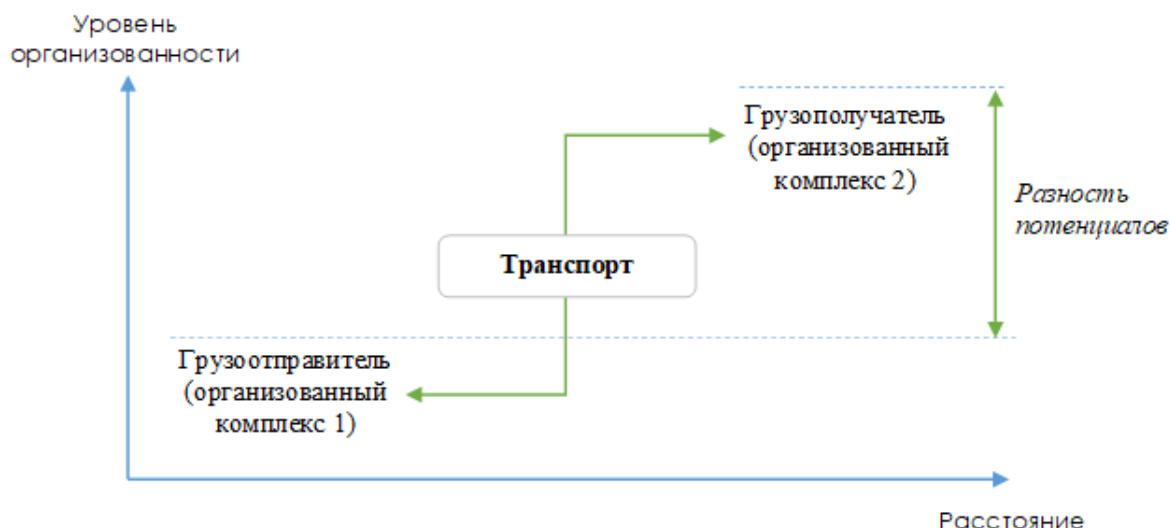


Рис. 1. Функциональная роль транспорта в макроэкономике
(с точки зрения всеобщей организационной науки А.А. Богданова)

На Рис. 1 показано, что транспорт может связать организованные комплексы, находящиеся на определенном расстоянии друг от друга, только в том случае, если разность их потенциалов (т.е. разность в уровне организованности) достаточно велика: в этом случае их замыкание способно преодолеть сопротивление внешней среды.

Другими словами, транспортное взаимодействие между такими организованными комплексами начинается в том случае, если между ними существуют значимые экономические разности: в ассортименте готовых продуктов, в уровне их цен, в емкости рынка, в объеме платежеспособного спроса и т.п. Если эти разности невелики (т.е. экономические отличия между комплексами минимальны: они схожи друг с другом), то значимых грузопотоков наблюдаться не будет³. С этой точки зрения действительно «наш мир есть вообще мир разностей; только разности напряжений энергии проявляются в действии, только эти разности имеют практическое значение» [9, с. 117]. Следствием значимых разностей напряжений между организованными комплексами и является появление потребности в стабильной работе транспортной системы.

Занимая промежуточное значение между организованными комплексами, транспорт призван пропускать через себя порождаемые ими потоки: вещественные (грузопотоки), энергетические (в том числе в символическом понимании этого слова, например, как денежные средства) и информационные. Миссия транспорта состоит в том, чтобы кардинально повысить качество этих потоков, т.е. синхронизировать их между собой и устранить сопротивление внешней среды на их пути, добиваясь

³ Так, два предприятия с одинаковой номенклатурой продуктов не имеют причин для регулярного транспортного взаимодействия между собой. Ситуация может измениться только если они будут иначе специализированы и в силу этого войдут в единую цепочку создания добавленной стоимости.

повышения скорости перевозки, снижения затрат, стабильности доставки и т.п. Если же этого обеспечить не удастся (т.е. сроки доставки и тарифы запретительно высоки), то грузопотоки не возникают и организованные комплексы не создают устойчивые цепочки создания добавленной стоимости. Исходя из этого, транспорт фактически способен *управлять взаимодействием организованных комплексов*.

По мере улучшения работы транспорта и активизации грузопотоков эти комплексы переориентируются на взаимодействие друг с другом, у них возникает своя специализация. Транспорт при этом приобретает способность *косвенно* управлять и *самими этими комплексами* (в том числе их производственной деятельностью): именно он определяет оптимальный размер партии груза, допустимые для перевозки количественные и качественные характеристики этого груза, частоту и время доставки (т.е. время начала очередного цикла производства у грузополучателя), а также затраты на перевозку (а значит и себестоимость конечного продукта).

Из вышесказанного следует, что именно вслед за ростом эффективности железнодорожного транспорта происходит рост эффективности грузоотправителей и грузополучателей. Аналогичным образом сказывается и снижение его эффективности.

Фактически вышесказанное означает, что в интересах всей экономики транспортная система должна демонстрировать опережающее технологическое развитие, а для этого требуется иметь более сложное устройство, чем у адресатов и адресантов груза. Действительно, согласно закону Винера-Шеннона-Эшби [10, 11], управляющая система должна превосходить по мощности и сложности управляемую систему.

Подтверждение этому мы видим, например, в российской истории: по мере продвижения вглубь страны такой высокоорганизованной системы, как железнодорожный транспорт, кардинально увеличивалась сложность хозяйственной деятельности новых территорий. В этом смысле не будет преувеличением тезис о том, что индустриальная цивилизация приходила в каждый конкретный регион страны одновременно с приходом железной дороги. Это в частности проявлялось в том, что такие территории начинали принимать участие в межрегиональном разделении труда, осваивать технологически сложные производства, ориентироваться на внешние рынки, согласовывать свою производственную деятельность с железнодорожными циклами, извлекать положительный эффект масштаба и др. Другими словами, *именно развитие и усложнение железнодорожной транспортной системы повлекло усложнение локальных организованных комплексов и породило впоследствии территориально-производственные комплексы*.

Сегодня мы наблюдаем все возрастающую конкуренцию со стороны трубопроводного, автомобильного, авиационного и морского транспорта и это говорит нам о том, что уровень внутренней сложности железнодорожной транспортной системы является уже недостаточным. Настоятельно требуются новые инструменты по управлению вещественными, информационными и энергетическими потоками. В качестве такого инструмента многими исследователями рассматривается цифровизация [12–15].

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОКАЗАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

На наш взгляд, целью цифровизации является минимизация участия человека в управлении грузопотоками путем передачи его функций разного рода автоматизированным системам.

При этом процесс цифровизации протекает схожим образом у всех участников транспортного рынка, в т.ч. в конкурирующих видах транспорта. В этом смысле железнодорожный транспорт движется общим путем, в то время как от него требуется опережающее развитие. Добиться опережающего развития железнодорожный транспорт может двумя путями:

- увеличив разность на рынке грузоперевозок (Рис. 1);
- минимизировав внутреннее сопротивление рыночным потокам вещества, энергии и информации.

В настоящее время он движется по второму пути, последовательно устраняя человека из всех производственных процессов. Для рассмотрения этого вопроса, представим деятельность железнодорожного транспорта с помощью модели ТРИЗ (Рис. 2).

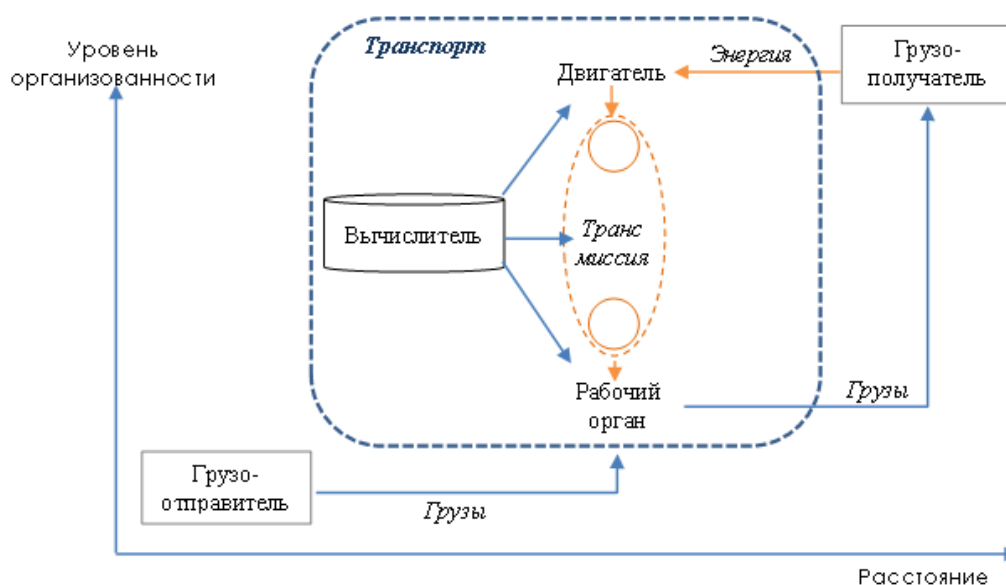


Рис. 2. Деятельность железнодорожного транспорта в модели ТРИЗ

Модель на Рис. 2 запускается потоками энергии, грузов и информации. При этом информационные потоки предшествуют энергетическим потокам, а энергетические потоки в свою очередь порождают материальные потоки.

На наш взгляд, каждый элемент на Рис. 2 соответствует определенному функциональному уровню железнодорожного транспорта:

- «рабочий орган». Главная функция – физическое перемещение грузов из пункта погрузки к пункту разгрузки. На железнодорожном транспорте к этому уровню относится прежде всего служба движения.
- «трансмиссия». Главная функция – подготовка и сопровождение процесса физического перемещения грузов. На железнодорожном транспорте к этому уровню относятся: служба дистанции пути, отделы кадров, склады, учебные центры, ОТиЗ, а также такие обособленные структуры, как погрузочные терминалы, сортировочные станции, ремонтные депо и т.п.
- «двигатель». Главная функция – поддержка грузоперевозок с помощью движения денежных средств и их эквивалентов. На железнодорожном транспорте к этому уровню относятся: бухгалтерия, экономический отдел, плановый отдел и т.п.
- «вычислитель». Главная функция – технологическая и политическая поддержка процесса грузоперевозок. На железнодорожном транспорте к этому уровню относятся: подразделения главного инженера, аппарат директора, совет директоров, наблюдательный совет и т.п.

Дальнейшая эволюция железнодорожного транспорта (Рис. 2) вероятно будет протекать согласно законам развития систем ТРИЗ. Отметим далее некоторые из них.

Закон опережающего развития рабочего органа.

Следует обратить внимание, что цифровизации на железнодорожном транспорте подвергается в первую очередь «рабочий орган». Именно на это направлены активно развиваемые сейчас цифровые технологии: беспилотные локомотивы, технология машинного зрения, системы интервального регулирования движения поездов, беспроводные сенсорные сети [16, 17], управления железнодорожным движением в реальном времени [18], системы по поддержанию устойчивости транспортных систем [19] и т.п. Причина этого состоит в том, что деятельность «рабочего органа» легче всего поддается нормированию и стандартизации в силу минимального взаимодействия с внешними субъектами, т.к. эта деятельность сосредоточена на процессе физического перемещения грузов.

Деятельность других подсистем сложнее поддается цифровизации: она в значительной степени погружена во взаимоотношения с внешней средой (грузоотправители, грузополучатели, сервисные организации, органы власти, банки, политические силы и т.п.). Как следствие, эта деятельность во многом непрогнозируема и требует участия человека.

Тем не менее цифровизация, устранив наконец человека из подсистемы «рабочий орган», неизбежно проделает то же самое в отношении «трансмиссии» и «двигателя». Вероятнее всего это произойдет в тот момент, когда оцифрована будет физическая деятельность (т.е. «рабочий орган») всех участников рынка, т.к. это будет означать создание технологически замкнутой подсистемы автономного перемещения грузов в масштабах всей макроэкономики, не требующей постоянного участия человека.

Закон перехода с макроуровня на микроуровень.

Железнодорожный транспорт изначально проектировался и создавался как сложная, централизованная макроэкономическая система, вобравшая в себя самые передовые технологии того времени. На определенном этапе развитие рабочих органов продолжилось на микроуровне в виде совершенствования локомотивов, вагонов, дистанции пути и др.

Сегодня речь идет, например, уже о том, чтобы каждая конкретная транспортная единица приобрела свойство мобильности. Так, например, контрейлер⁴ уже снабжается колесами, что предполагает его мобильность. Отсюда остается один шаг до придания ему полной автономности, т.е. способности самостоятельно строить маршрут и передвигаться на короткие расстояния без участия человека.

Закон динамизации.

Этот закон предполагает, что жесткие системы должны становиться динамичными, то есть переходить к более гибкой, быстро меняющейся структуре и к режиму работы, подстраивающемуся под изменения внешней среды. На наш взгляд, на железнодорожном транспорте это будет проявляться в автономизации отдельных органов из рисунка 2 и превращения их в киберфизические системы – это «умные системы, включающие интерактивные инженерные сети из физических и коммуникационных компонент»⁵. Такие киберфизические системы будут способны как самостоятельно создавать ситуативные алгоритмы, так и физически их выполнять.

⁴ Контрейлер — контейнер, снабженный автомобильными колёсами, предназначенный для комбинированных перевозок грузов: автомобильно-водных, автомобильно-железнодорожных или смешанных автомобильно-железнодорожно-водных.

⁵ CPS PWG Draft Framework for Cyber-Physical Systems Release 0.8. September 2015. P. XII. //

<https://yandex.ru/search/?lr=63&text=CPS%20PWG%20Draft%20Framework%20for%20Cyber-Physical%20Systems%20Release%20>

В конечном счете, реализация этого сценария будет означать, что отдельные подсистемы из Рис. 2 приобретут функциональную свободу от человека, т.е. будут осуществлять свою целевую функцию самостоятельно, согласно заложенным в них базовым алгоритмам и произвольно комбинируясь в те или иные производственные системы, затребованные в данный момент рынком. При этом подсистемы смогут осуществлять и юридически значимые действия, например, заключение договора аренды или изменение тарифов на грузоперевозку.

Тем самым будут стерты производственные границы между железнодорожным транспортом и другими участниками рынка, так как происходящие в них процессы идентичны. В распоряжении железнодорожного транспорта останется лишь «вычислитель», создающий алгоритмы для киберфизических систем и контролирующий их выполнение. Именно эффективность работы «вычислителя» будет определять жизнеспособность железнодорожного транспорта по сравнению с другими способами доставки грузов.

РОЛЬ «ВЫЧИСЛИТЕЛЯ» В РАЗВИТИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На наш взгляд, «Вычислитель» будет способен:

- определять способ комбинирования всех остальных элементов на Рис. 2 (в том числе элементов, принадлежащих другим участникам рынка);
- участвовать во всех производственных процессах в качестве главного средства производства (примерно так же, как сегодня компьютер используется в самых разных отраслях);
- выполнять все коммуникационные функции как между человеком и киберфизической системой, так и между отдельными элементами основных средств.

По этим причинам «Вычислитель» станет наиболее значимым и дорогостоящим элементом производственной системы, от производительности которого во многом будет зависеть эффективность любого процесса производства, в том числе грузоперевозок.

Фактически это означает, что «Вычислитель» на железнодорожном транспорте должен обеспечивать передвижение грузов по всей цепочке, начиная с *территории* сырьедобывающих компаний и заканчивая *торговыми залами* в розничной торговле. Это предполагает:

- создание протоколов прямого взаимодействия своих подсистем с подсистемами клиентов;
- прогнозирование потребности грузоотправителя в очередной отправке;

- заблаговременное резервирование подвижного состава и его маршрутизация;
- перемещение подвижного состава на территорию грузоотправителя;
- информирование грузополучателя о сроке доставки и перемещение подвижного состава на его территорию.

При этом *цель* «Вычислителя» на железнодорожном транспорте можно сформулировать следующим образом: предельная прогнозируемость и планируемость грузовых потоков на долгосрочную перспективу и сглаживание их экстремумов.

Это в свою очередь предполагает, что «Вычислитель» на железнодорожном транспорте будет способен прогнозировать деятельность не только своих непосредственных клиентов, но и всей экономики в целом. Способность же прогнозировать *предполагает и способность управлять*. Другими словами, железнодорожный транспорт придет к необходимости регулировать спрос и предложение в масштабах национальной экономики.

В настоящее время движение грузов происходит однонаправленно: от добычи сырья к конечному потребителю. В обратную сторону движутся порожние вагоны, энергия в виде денежных средств и информация в виде ценовых сигналов. При этом в силу инерции спроса ценовые сигналы возникают с серьёзной задержкой, что периодически приводит к затовариванию и перепроизводству или к дефицитам. В свою очередь скорость реакции экономики на эти сигналы определяется длительностью цикла производства и соответствующей инерцией физического производства.

В тот момент, когда цифровизация примет тотальный характер, транспорт сможет минимизировать эти инерционные задержки: благодаря контролю над всей цепочкой добавленной стоимости он будет способен уловить первоначальные слабые сигналы и заранее донести их до всех участников.

Эта система работоспособна в том случае, когда устранено хаотизирующее влияние рынка, спрос на перевозки приобретает машиноподобный, полностью прогнозируемый характер и не требуется ручная корректировка работы системы.

Заблаговременно уловить эти изменения и выделить их стабильные и вариативные составляющие - вот фундаментальная задача «Вычислителя» на железнодорожном транспорте на ближайшее будущее. При этом прогнозирование должно исходить из того, что изменения конечного спроса – это результат изменения уровня организованности, в том числе в самых наглядных его проявлениях: изменения численности, уровня доходов и т.д. Соответственно такие сигналы поддаются фиксации и прогнозированию.

В результате этого железнодорожный транспорт будет способен оказывать влияние на физическое производство в стране. Он объективно будет стремиться минимизировать все множество состояний макроэкономики, которые могут его затронуть. Для этого все конечные потребности можно разделить на базовые (слабо изменяющиеся и поэтому легко прогнозируемые) и дополнительные (спонтанные и мало прогнозируемые).

В идеальном случае созданная модель позволит осуществлять такое прогнозирование базовых потребностей в макроэкономике, которое позволит железнодорожному транспорту действовать в отношении этих потребностей без дальнейшего вмешательства «Вычислителя»: подсистемы будут автоматически подстраиваться под рыночную конъюнктуру, выполняя перевозочные и смежные функции. Тем самым может быть реализован еще один базовый закон ТРИЗ – *закон увеличения степени идеальности системы*. Этот закон декларирует, что развитие всякой системы идет в сторону увеличения идеальности. Абсолютная идеальность предполагает, что системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется.

Построение такой идеальной системы теоретически возможно только в отношении базовых потребностей. В этом случае роль «Вычислителя» полностью переориентируется на обслуживание дополнительных потребностей в макроэкономике путем гибкой адаптации грузоперевозок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Железнодорожный транспорт является своего рода «становым хребтом» национальной экономики, обеспечивающим индустриальное производство. В среднем, в год ОАО «РЖД» перевозит почти 1,3 млрд т грузов и около 1,2 млрд пассажиров⁶, а к 2025 году поставлена задача увеличить объем грузоперевозок до 1,5 млрд т. Перспективы развития компании в соответствии с Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года включают увеличение грузооборота, надежности и скорости доставки грузов, интеграцию пригородного сообщения в городскую транспортную среду, масштабные проекты строительства и модернизации инфраструктуры а также широкое внедрение цифровых сервисов.

В развитии транспортно-логистического направления ОАО «РЖД» переходит от базовой перевозки грузов к комплексным услугам «от двери до двери» и формированию глобальных логистических цепочек. Компания внедряет современные логистические технологии, создает автоматизированную систему управления взаимоотношениями с

⁶ https://ar2018.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages.pdf стр.2

клиентами и единый каталог услуг в области грузоперевозок, расширяет международную географию услуг, разрабатывает и запускает новые сервисы для грузоотправителей⁷.

Ожидается развитие цифровых сервисов в сфере пассажирских перевозок, особенно в пригородном сообщении, в том числе мультимодальные маршруты, пассажирские перевозки в дальнем следовании, в том числе скоростное и высокоскоростное сообщение между городскими агломерациями. Данное направление особенно перспективно, принимая во внимание тенденцию повышения уровня урбанизации в России. Например, в Санкт-Петербурге 100 % городского населения, в Москве – 98,7 %⁸. Актуальны и многие другие цифровые проекты на железной дороге.

Идеей цифровой трансформации охвачен весь мир, ведь у цифровой экономики много преимуществ. Одно из главных преимуществ для России – цифровизация позволит начать преодоление статуса «сырьевой страны», что автоматически поднимет рейтинг России в мире. Однако все проекты цифровой экономики, имеют последствия, о которых еще не думали и не обсуждали на глобальном уровне. Но уже сейчас многие руководители понимают, что необходим системный анализ цифровых проектов в их взаимодействии, влиянии на общество. Нужно рассматривать не только социальный аспект, но и информационную безопасность и импортозамещение.

Технический прогресс необратим и сегодня железнодорожный транспорт сталкивается с новыми вызовами и «окнами возможностей». Одно из таких «окон» – это цифровизация, которая предполагает, что от человека к автоматизированным системам будут переданы не только отдельные операции, но и вся деятельность одного или нескольких подсистем.

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. Мугинштейн Л.А., Виноградов С.А., Кирякин В.Ю. и др. Инновационный проект «Эльбрус» // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 12. – С. 18–25. [Muginshtejn LA, Vinogradov SA, Kiryakin VYu, et al. Innovacionnyj proekt "El'brus". *Railway transport* 2013;12:18-25 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20780187>

⁷ Новый взгляд. Годовой отчет РЖД за 2018 г. https://ar2018.rzd.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages.pdf (с.42).

⁸ Урбанизация в России: <https://rosinfostat.ru/urbanizatsiya-v-rossii/>

2. Виноградов С.А. О ходе работы "Разработка системы построения прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов на направлении Исилькуль – Инская Западно-Сибирской железной дороги" // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2012. – № 3. – С. 32-39. [Vinogradov SA. O hode raboty "Razrabotka sistemy postroeniya prognoznyh energosberegayushchih grafikov dvizheniya poezdov na napravlenii Isil'kul' – Inskaya Zapadno-Sibirskoj zheleznoj dorogi". *Bulletin of Joint scientific Council of JSC Russian railways* 2012;3:32-39 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19127008>
3. Мугинштейн Л.А., Ябко И.А., Рахманинов В.И. и др. Обучение машинистов энергосберегающим и безопасным методам управления поездами // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 9. – С. 37–40. [Muginshtejn LA, Yabko IA, Rahmaninov VI, et al. Obuchenie mashinistov energosberegayushchim i bezopasnym metodam upravleniya poezdami. *Railway transport* 2005;9:37-40 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23469235>
4. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». [Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 09.05.2017 g. № 203 “O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017–2030 gody” (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919>
5. Распоряжение Правительства России от 28 июля 2017 г. №1632-р об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». [Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossii ot 28 iyulya 2017 g. №1632-r ob utverzhdenii programmy “Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii” (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71634878>
6. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 19.03.2019 № 466р. [The long-term development program of JSC "Russian Railways" until 2025: approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 466r of 19.03.2019. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <http://static.government.ru/media/files/zcAMxApAgyO7PnJ42aXtXAgA2RXSVoKu.pdf>
7. Колосовский Н.Н. Основы экономического районирования. – М.: Госполитиздат, 1958. – 200 с. [Kolosovsky NN. *Fundamentals of economic zoning*. Moscow: Gospolitizdat; 1958. 200 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: https://www.studmed.ru/kolosovskiy-n-n-osnovy-ekonomicheskogo-rayonirovaniya_975da9293d0.html
8. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. 2019. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/24196.pdf>
9. Богданов А.А. Тектология (Всеобщая организационная наука). – М.: Экономика, 1989. Кн. 1. – 304 с. [Bogdanov AA. *Tectology (General organizational science)*. Moscow: Economics; 1989. Book 1. 304 p. (In Russ.)].
10. Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. – М.: Наука; 1983. – 344 с. [Wiener N. *Cybernetics, or Control and communication in an animal and a machine*. Moscow: Nauka; 1983. 344 p. (In Russ.)].

11. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с. [Ashby UR. *Introduction to cybernetics*. Moscow: Foreign literature; 1959. 432 p. (In Russ.)].
12. Лapidус Б.М. О влиянии цифровизации и индустрии 4.0 на перспективы развития железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2018. – № 1. – С. 1–8. [Lapidus BM. O vliyanií cifrovizácii i industrii 4.0 na perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*. 2018;1:1-8. (In Russ.)].
13. Метелкин П.В., Лобачев В.В., Крылов А.Н., Липатов А.Г. К вопросу о цифровизации на железнодорожном транспорте России // Транспортное дело России. – 2019. – № 1. – С. 225–227. [Metelkin PV, Lobachev VV, Krylov AN, Lipatov AG. On the issue of digitalization in Russian railway transport. *Transport Business of Russia*. 2019;1:225-227 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37280278>
14. Розенберг Е.Н., Уманский В.И., Дзюба Ю.В. Цифровая экономика и цифровая железная дорога // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 5 (72). – С. 45–49. [Rosenberg EN, Umansky VI, Dzyuba YuV. Digital economy and digital railway. *Transport of the Russian Federation*. 2017;5(72):45-49 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30463592>
15. Шевченко Д.В. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – №80(2). – С. 91–99. [Shevchenko DV. Methodology of building digital doubles on railway transport. *Bulletin of the Research Institute of Railway Transport* 2021;80(2):91-99. (In Russ.)]. doi: 10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99
16. Hodge VJ, O’Keefe S, Weeks M, Moulds A. Wireless sensor networks for condition monitoring in the railway industry: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2015;16(3):1088-1106. doi: 10.1109/TITS.2014.2366512.
17. Alawad H, Kaewunruen S. Wireless Sensor Networks: Toward Smarter Railway Stations. *Infrastructures*. 2018;3(3). doi: 10.3390/infrastructures3030024
18. Keita K, Pellegrini P, Rodriguez J. A three-step Benders decomposition for the real-time Railway Traffic Management Problem. *Journal of rail transport planning & management*. 2020;13(100170) doi: 10.1016/j.jrtpm.2019.100170
19. Wan C, Yang Z, Zhang D, et al. Resilience in transportation systems: A systematic review and future directions. *Transport Reviews*. 2018;38(4):479-498. [cited 2002 Aug 12] Available from: <http://www.nursingworld.org/AJN/2002/june/Wawatch.htm>Article
20. Шпаковский Н.А., Новицкая Е.Л. Триз. Практика целевого изобретательства. – М.: ФОРУМ. 2011. – 335 с. [Shpakovsky NA, Novitskaya EL. *Triz. The practice of targeted invention*. Moscow: FORUM. 2011. 335 p. (In Russ.)].
21. Хомяков В.Н. Кибернетика, закон необходимого разнообразия и разработка прогнозов экономических показателей // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2014. – №1–1. – С. 128–141. [Khomyakov VN. Kibernetika, zakon neobhodimogo raznoobraziya i razrabotka prognozov ekonomicheskikh pokazatelej. *Proceedings of the Tula State University. Economic and legal sciences* 2014;1-1:128-141 (In Russ.)]. Ссылка активна на: 01.08.2021. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21437929>
22. CPS PWG Draft Tramework for Cyber-Phisical Systems Release 0.8. September 2015. P. XII. [cited 2021 Sept 1]. Available from: [http:// https://s3.amazonaws.com/nist-](http://https://s3.amazonaws.com/nist-)

sgcps/cpspwg/pwgglobal/CPS_PWG_Draft_Framework_for_Cyber-Physical_Systems_Release_0_8_September_2015.pdf

23. Vagnoli M, Remenyte-Prescott R, Andrews J. Railway bridge structural health monitoring and fault detection: State-of-the-art methods and future challenges. *Structural health monitoring-an international journal*. 2018;17(4):971-1007. doi: 10.1177/1475921717721137

Сведения об авторах:

Анохов Игорь Васильевич, кандидат экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 1444-3259; ORCID: 0000-0002-5983-2982; Researcher ID: AAF 9428 2020;
E-mail: i.v.anokhov@mail.ru

Косарев Александр Борисович, доктор технических наук, профессор;
AuthorID: 352781; ScopusID: 7006304498;
E-mail: Kosarev.Alexandr@vniizht.ru

Римская Ольга Николаевна, кандидат экономических наук, доцент;
eLibrary SPIN: 4185-4532; ORCID: 0000-0002-1548-0815
E-mail: olgarim@mail.ru

Information about the authors:

Igor V. Anokhov, Ph.D. in Economics, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 1444-3259; ORCID: 0000-0002-5983-2982; Researcher ID: AAF 9428 2020;
E-mail: i.v.anokhov@mail.ru

Kosarev Alexander Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Professor;
AuthorID: 352781; ScopusID: 7006304498;
E-mail: Kosarev.Alexandr@vniizht.ru

Rimskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor;
eLibrary SPIN: 4185-4532; ORCID: 0000-0002-1548-0815
E-mail: olgarim@mail.ru

Цитировать:

Косарев А.Б., Римская О.Н., Анохов И.В. Опережающее развитие железнодорожного транспорта с помощью цифровых технологий // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 90–105. doi: 10.17816/transsyst20217490-105

To cite this article:

Kosarev AB, Rimskaya ON, Anokhov IV. Advanced development of railway transport using digital technologies. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(4):90-105. doi: 10.17816/transsyst20217490-105