

ISSN 2413-9203

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

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

transst.ru

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»
 EHLEKTRONNYJ NAUCHNYJ ZHURNAL "TRANSPORTNYE SISTEMY I TEKHNOLOGII"
 ELECTRONIC RESEARCH JOURNAL "TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY"

Главный редактор А. А. Зайцев, доктор экономических наук, профессор
Editor-in-chief A. A. Zaitsev, Dr. economic sciences, Professor, Petersburg State Transport University

Заместитель главного редактора Ю. Ф. Антонов, доктор технических наук, профессор
Deputy chief editor Y. F. Antonov, D. Eng., Professor, Petersburg State Transport University

Выпускающий редактор И. М. Шейнман
Executive editor I. M. Scheinman

Ответственный секретарь Т. С. Антонова
Executive secretary T. S. Antonova

Редактор сайта А. Ю. Дитрихс

Online content editor A. Yu. Ditrjhs

Перевод на английский язык В. В. Шматченко, кандидат технических наук, доцент

English translation V. V. Shmatchenko, Ph.D., Associate Professor, Petersburg State Transport University

Литературное редактирование и корректура И. М. Шейнман

Editing and proofreading I. M. Scheinman

Верстка Т. С. Антонова

Layout T. S. Antonova

Учредитель и издатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Founder and publisher Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Petersburg State Transport University»

Контакты 190031, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, 113, ауд. 9/11-5, тел. +7(911)238-44-45, e-mail: info@transssyst.ru; сайт: www.transssyst.ru

Contacts 190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 113, 9/11-5, tel: +7(911)238-44-45, e-mail: info@transssyst.ru; сайт: www.transssyst.ru

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

Mass media registration certificate number

Эл№ФС77-53673 от 17.04.2013 issued by the The Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications

Журнал имеет институт рецензирования

The Journal has the Peer-review division

Журнал распространяется через Интернет без ограничений

и по адресно-целевой подписке через редакцию

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

Минимальные системные требования

Тип компьютера, процессор, сопроцессор, частота: Pentium IV и выше;
 оперативная память (RAM): 256 Мб и выше; необходимо на винчестере:
 не менее 64 Мб; ОС MacOS, Windows (XP, Vista, 7); видеосистема:
 встроенная; дополнительное ПО: Adobe Reader версия от 7.X или аналог.
 Защита от незаконного распространения: реализуется встроенными средствами Adobe Acrobat

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Ли Вэйли, доктор технических наук, профессор, Пекинский технический университет, Пекин, КНР

Weili Li, Ph.D., Professor, Beijing University of Technology, Beijing, China, Chairman of Editorial board

Колесников Владимир Иванович, Академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, С.-Петербург, Россия
Vladimir Kolesnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of technical sciences, professor, St. Petersburg, Russia

Ганиев Ривнер Фазылович, Академик Российской академии наук, директор Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия

Rivner Ganiev, Academician of the Russian Academy of Sciences, director of the Institute of Mechanical Engineering. Blagonravov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Глухих Василий Андреевич, Академик Российской академии наук, научный руководитель НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, доктор технических наук, профессор, председатель Совета

Vasily Gluhih, Academician of the Russian Academy of Sciences, scientific adviser NIIIEFA name D.V. Efremov, doctor of technical sciences, professor, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial board

РЕДКОЛЛЕГИЯ EDITORIAL TEAM

Антонов Юрий Федорович, доктор технических наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия, председатель редколлегии

Yuri Antonov, Dr. Sc., Professor, Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial team

Галкин Александр Геннадьевич, Ректор Уральского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук, профессор, Екатеринбург, Россия

Alexander Galkin, Rector of the Ural State State Transport University, Dr. Sc., Professor, Ekaterinburg, Russia

Верескун Владимир Дмитриевич, Ректор Ростовского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук, профессор, Ростов-на-Дону, Россия

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

Паньчев Александр Юрьевич, Ректор Петербургского государственного университета путей сообщения, кандидат экономических наук, доцент, Санкт-Петербург, Россия

Alexander Panychev, Rector of Petersburg State Transport University, Ph.D., Associate Professor, St. Petersburg, Russia

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ, ПРЕДЛАГАЕМЫМ
ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «БЮЛЛЕТЕНЬ РЕЗУЛЬТАТОВ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» ONLINE-ЖУРНАЛ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И УСЛОВИЯ

- 1.1 Тема и содержание представляемой для публикации статья и должны соответствовать профилю журнала, обладать научной новизной и представлять интерес для специалистов.
- 1.2 Статьи, ранее опубликованные или переданные в другие издания, в журнал не принимаются.
- 1.3 Результаты исследований должны соответствовать одной из научных отраслей: физико-математических (01.00.00), технических (07.00.00, 08.00.00, 09.00.00, 11.00.00, 13.00.00, 14.00.00, 20.00.00, 23.00.00), экономических (38.00.00).
- 1.4 Нижеперечисленные материалы предоставляются в электронном виде в одном архивном файле (zip или rar):

Файл 1 – рукопись научной статьи в формате MS Word.

Файл 2 – первая страница рукописи, подписанная автором (авторами).

Файл 3 – согласие на обработку персональных данных, заверенное личной подписью, в сканированном виде.

Файл 4 – информация об авторах:

- ФИО полностью,
- дата рождения,
- место работы, должность,
- ученая степень и звание,
- паспортные данные (серия, номер, кем и когда выдан),
- e-mail, телефон, • адрес.

Файл 5 – название статьи, аннотация, ключевые слова, библиографический список на английском языке в формате MS Word.

Файл 6 – экспертное заключение о возможности опубликования рукописи в открытом доступе, заверенное по месту обучения или работы, в сканированном виде.

Файл 7 – рецензия научного руководителя (для студентов-исследователей, магистров, аспирантов и соискателей ученых степеней).

Файл 8 – лицензионный договор.

- 1.5 Все рукописи проходят рецензирование (внешняя экспертная оценка).
В случае отрицательного отзыва рукопись возвращается автору на доработку.
В случае повторного отрицательного отзыва статья отклоняется. После получения положительной рецензии с рекомендацией к публикации рукопись передается в издательство и проходит предпечатную подготовку.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТУ

Объем статьи – не менее 8 и не более 15 страниц при наборе текста в формате Word 14-м кеглем через одинарный интервал. На первой странице рукописи помещаются УДК, фамилии авторов (с указанием места обучения или работы), название статьи, аннотация и ключевые слова.

Текст должен содержать введение, разделы, заключение. **Формулы** должны быть набраны только в редакторе Equation, а отдельные символы и буквы формул в тексте статьи в редакторе – MS Word (не в Equation). Буквы латинского алфавита в тексте и формулах набираются курсивом, буквы греческого и русского алфавитов – обычным шрифтом. Нумеровать нужно только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Формат страницы – А4; каждое поле – 2,5 см; абзацный отступ – 1 см; размер шрифта 14, выравнивание по левому краю; автор (авторы) с указанием места обучения или работы – размер шрифта 14, полужирное начертание, выравнивание по левому краю; название рукописи – размер шрифта 14, заглавные буквы, полужирное начертание, выравнивание по левому краю; аннотация, ключевые слова – размер шрифта 12, выравнивание по ширине.

Требуемый объем **аннотации** – не менее 500 знаков. В аннотации должны быть указаны предмет, тема, цель работы, метод или методология проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. Одним из проверенных вариантов аннотации является краткое повторение в ней структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.

Библиографический список приводится в конце статьи и составляется в порядке упоминания в тексте рукописи.

Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках.

Рисунки, графики и таблицы должны иметь номер и заголовок (размер шрифта 12, выравнивание по центру).

Внимание! Рисунки и формулы не должны быть сканированными!

Фотографии предоставляются в двух вариантах: в тексте статьи и в виде отдельных файлов TIFF и JPEG без сжатия. Название файла должно соответствовать подрисуночной подписи.

Сканирование материалов из альбомов, журналов, буклетов, газет и книг влечет за собой сильное понижение качества изображения. Используйте функцию Descreen. Если Вы сканируете фото самостоятельно, выставляйте разрешение 300 dpi (большее не имеет смысла, меньшее приведет к понижению качества).

То же самое касается рисунков, графиков и диаграмм, созданных в CorelDRAW и Illustrator. Помещайте в файл в формате Word рисунки только в качестве preview-версии, не забывая прилагать отдельно исходники.

Важная информация. Настоящие требования могут быть изменены без оповещения авторов. Неисключительные права на все материалы, опубликованные на сайте журнала, кроме оговоренных случаев, принадлежат ФГБОУ ВПО ПГУПС. Все материалы, авторские права на которые принадлежат ФГБОУ ВПО ПГУПС, могут быть перепечатаны при наличии письменного разрешения ФГБОУ ВПО ПГУПС. Требуется предварительное согласие на перепечатку со стороны издателя.

Содержание

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Зайцев А. А., Троицкий П. С.	Создание высокоскоростной магнитолевитационной пассажирской линии «Адлер-Кисловодск-Минеральные воды»	5
Милованова Е. А., Любченко И. А., Милованов А. И.	Прогнозируемые перспективы практической реализации транспортной системы «Монолёт»	15
Аксенов Н. А.	Развитие высокоскоростного движения в России: Maglev	25

Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Талашкин Г. Н.	Особенности проектирования и строительства искусственных сооружений для маглев-дорог	35
Сыромятников А. Г.	Высокотемпературный предел для керамики на меди для транспортных систем на основе магнитной левитации	60
Каманин Ю. Н., Ушаков Л. С.	Разработка новых технологий проходки туннелей в твердых породах	77
Антонов Ю. Ф., Краснов А. С., Зименкова Т. С.	Охлаждение высокотемпературных сверхпроводниковых материалов в магнитолевитационных системах	87

Раздел 3. БЕЗОПАСНОСТЬ

Аполлонский С. М.	Функциональная безопасность на электрифицированном железнодорожном транспорте	97
Рубинский А. В., Носкин Л. А.	Медико-биологические подходы к проблемам безопасной эксплуатации магнитолевитационного транспорта	114

Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Палкина Е. С.	Формирование интеллектуального капитала в новом экономическом пространстве на основе высокоскоростных транспортных систем	128
----------------------	---	-----

CONTENTS

Section 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Zaytsev A. A., Troitskiy P. S.	Creating a magnetogravitational high-speed passenger line "Adler-Kislovodsk-Mineralnie vody"	5
Milovanova E. A., Lyubchenko I. A., Milovanov A. I.	Perspectives of practical realization of the transport system «Monojet»	15
Aksenov N. A.	Development of high traffic in russia: Maglev	25

Section 2: SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENT

Talashkin G. N.	Features design and construction of artificial structures for Maglev - roads	35
Syromyatnikov A.G.	High temperature limit for ceramics on the copper for transport systems based on magnetic levitation	60
Kamanin Y. N., Ushakov L. S.	Development of new technologies in tunneling In hard rock	77
Antonov Yu. F., Krasnov A. S., Zimenkova T. S.	Cooling the high-temperature superconductor materials magnitolevitatsionnyh systems	87

Section 3. SAFETY

Apollonskiy S. M.	Functional safety into electrified railways	97
Rubinskiy A. V., Noskin I. A.	Biomedical aspects of problems safe usage of transport maglev	114

Section 4. ECONOMIC ASPECTS

E. S. Palkina	Intellectual capital formation in new economic space based on high-speed transport systems	128
----------------------	--	-----

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

УДК 656.02

А. А. Зайцев, П. С. Троицкий

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ЛИНИИ «АДЛЕР-КИСЛОВОДСК-МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ»

Дата поступления 27.11.2016

Решение о публикации 30.11.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: В статье рассматривается идея создания магнитолевитационной высокоскоростной магистрали (МВСМ) для пассажирского движения по маршруту «Адлер – Кисловодск – Минеральные Воды».

Введение: МВСМ связывая основные курорты Северного Кавказа, окажет агломерационное влияние на их развитие путем привлечения дополнительных туристов, создаст рынок перевозок в между данными рекреационными объектами, который сейчас, по сути, отсутствует.

Анализ: С появлением линии МВСМ 5 разрозненных курортов - Сочи, КВМ, Архыз, Эльбрус, Домбай - превратятся в один крупный многофункциональный курортный кластер, предлагающий бальнеологические услуги, горнолыжные программы и отдых на море. Кластер будет иметь 2 аэропорта – Сочи и Минеральные Воды, связанные МВСМ, морской вокзал, и линии существующей железной дороги. Цифры годового турпотока в структуре пассажиропотока, инвестиционных затрат и стоимости проезда являются наиболее влияющими на окупаемость проекта. По большому счету сам проект МВСМ рассчитан на туристов. Поэтому необходима глубоко проработанная ценовая политика по тарифообразованию на перевозки по данной линии. В первые два года эксплуатации магистрали в финансовой модели заложена стоимость поездки по всему маршруту в 1 конец в размере 1000 рублей. Для средней семьи из трех человек однодневная экскурсионная поездка из Адлера в Кисловодск, в частности, обойдется в 6000 руб.

Результаты: Необходимость применения магнитолевитационной технологии на данной высокоскоростной линии обусловлена сложным горным рельефом прохождения трассы, способностью Маглева преодолевать большие уклоны, повороты с меньшим радиусом кривых в сравнении с технологией «колесо-рельс». А также более низким негативным воздействием на природу Большого Кавказского заповедника.

Выводы: Сформулирована основная бизнес-идея, связанная со строительством высокоскоростной магистрали. Дана экономическая оценка эффективности предлагаемого проекта.

Ключевые слова: Проектирование пассажирского магнитолевитационного транспорта, высокоскоростные магистрали, инновационный транспорт, курорты

Северного Кавказа, прогнозирование пассажиропотока на высокоскоростных магистралях.

Anatoliy A. Zaytsev, Pavel S. Troitskiy

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

CREATING A MAGNETOGRAVITATIONAL HIGH-SPEED PASSENGER LINE "ADLER-KISLOVODSK-MINERALNIE VODY"

Abstract: The article discusses the idea of creating magnetogravitational high-speed railway (MSM) for passenger traffic on the route "Adler – Kislovodsk – Mineralnie Vody".

Introduction: MSM linking the main resorts of the North Caucasus will have an agglomeration effect on their development by bringing more tourists, will create a market of transportations in between these recreational facilities, which are now essentially absent.

Analysis: With the appearance of the line MVSM 5 disparate resorts - Sochi, KVM, Arkhyz, Elbrus, Dombay - will become a major mixed-use resort cluster offers Spa services, ski programs and a seaside holiday. The cluster will have 2 of the airport of Sochi and Mineral Waters associated MSM, marine station, and the lines of the existing railway. The numbers of annual tourist arrivals in the structure of passenger traffic, investment costs and cost of travel are the most influencing payback. The project itself MVSM designed for tourists. Therefore, necessary deep pricing policy on tariffs for transportations on the line. In the first two years of operation of the highway in the financial model includes the cost of travel along the route 1 end in the amount of 1000 rubles. For the average family of three people a day excursion from Adler to Anapa, in particular, will cost 6000 RUB.

Results: The necessity of using magnetogravitational technology on this high speed line due to the difficult mountainous terrain of the route, Maglev's ability to overcome steep slopes, turns with smaller radius curves in comparison with the technology "wheel-rail". As well as a lower negative impact on the nature of the Great Caucasus nature reserve.

Conclusions: Formulated the main idea associated with the construction of high speed railway. Given economic evaluation of the effectiveness of the proposed project

Keywords: Design magnetogravitational passenger transport, high speed railway, the innovative transportation, the resorts of the North Caucasus, prediction of passenger flow on high-speed motorways.

Введение

Создание высокоскоростных магистралей меняет традиционные представления о пространстве, привычный уклад жизни людей, влияет на экономические, социальные, культурные, межличностные процессы в регионе прилегания линии. Появление высокоскоростных магистралей порождает мультипликативные эффекты: рост подвижности населения, рост бизнес-активности, расширение территории локального рынка труда, рынка недвижимости, изменения их структуры и цен/зарплат на них [5].

Проведение зимней олимпиады в Сочи стало катализатором развития и горнолыжного курорта в этом регионе, что помимо пляжного отдыха превратило Сочи в круглогодичный курорт с постоянной транспортной востребованностью. По прогнозам, к концу года пассажиропоток

Международного аэропорта Сочи в 2016 превысит 5 млн. человек (в 2015 году - более 4 млн.) Всего в 2015 году Сочи посетили более 6 млн. туристов [12].

Анализ

Согласно инновационному сценарию стратегии развития санаторно-курортного и туристского комплекса Краснодарского края до 2020 года количество организованных и неорганизованных туристов возрастет в 2 раза, в том числе в Сочи до 12 млн. человек в год. В перспективе все курорты края при условии динамичного развития туристской сферы смогут принимать до 500 тысяч отдыхающих в сутки, то есть 45 миллионов туристов в год [13]. Без современного, скоростного, комфортабельного и доступного транспорта реализация этих планов невозможна.

Авторами предлагается рассмотрение идеи создания магнитолевитационной высокоскоростной магистрали (МВСМ) для пассажирского движения по маршруту «Адлер – Кисловодск – Минеральные Воды».

МВСМ связывая основные курорты Северного Кавказа, безусловно, окажет агломерационное влияние на их развитие путем привлечения дополнительных туристов, создаст рынок перевозок между данными рекреационными объектами, который сейчас, по сути, отсутствует. С появлением линии МВСМ пять разрозненных курортов – Сочи, КавМинВоды, Архыз, Эльбрус, Домбай – фактически превращаются в один крупный многофункциональный курортный кластер, предлагающий одновременно бальнеологические услуги, горнолыжные программы и отдых на море. Кластер будет иметь 2 аэропорта – Сочи и Минеральные Воды, связанные МВСМ, морской вокзал и линии существующей железной дороги. Помимо этого, в перспективе с учетом возможной постройки линии МВСМ возможна ликвидация железнодорожной линии Туапсе – Адлер, которая в настоящее время сдерживает курортное развитие прибрежных территорий Черного моря, оказывает негативное влияние на экологию. Поэтому, возможно переключение железнодорожного пассажиропотока следующего в Адлер/Сочи/Абхазию с данной линии на линию МВСМ. Пассажиры следуют по существующей железной дороге до города Минеральные Воды, далее пересаживаются на линию МВСМ. Это сократит время в пути. При равном расстоянии от Москвы до Минеральных вод/Адлера в 1800 км, но с учетом инфраструктурных ограничений по скорости движения на участке Горячий – Ключ Адлер в настоящее время скорый поезд от Москвы до Адлера следует 33 часа, до Минеральных Вод в среднем 27 часов [9]. С учетом затрат времени в 2 часа на пересадку и поездку по МВСМ, путь до Адлера составит 29 часов против 33.

Прогнозирование пассажиропотока на рассматриваемой МВСМ должно осуществляться с учетом следующих особенностей [3]:

- Высокоскоростная железная дорога является абсолютно новым продуктом на рынке российских транспортных услуг. Размеры перевозок по ней в свою очередь должны быть в разы выше, нежели по существующим транспортным артериям для окупаемости такого проекта.
- Ввод в строй такой магистрали повлечет за собой не только прямые, но и косвенные, мультипликативные эффекты - рост подвижности населения, рост бизнес-активности, расширение территории локального рынка труда, рынка недвижимости, изменения их структуры и цен/зарплат на них.
- Увеличение скорости перемещения пассажиров/грузов повлияет на все процессы в рассматриваемом регионе: экономические, социальные, культурные, межличностные. Оно изменит в целом привычный уклад жизни, распорядок дня людей живущих в зоне ВСМ.
- В процессе строительства ВСМ применяются новейшие технические решения и методы организации перевозок, в том числе мультимодальные с использованием нескольких видов транспорта.

Все эти факторы создадут дополнительный (индуцированный) спрос на перевозки, количество поездок увеличится в нелинейной прогрессии. Данные факторы не позволяют напрямую экстраполировать тренд существующего пассажиропотока в рассматриваемом регионе на будущую высокоскоростную магистраль.

Для обоснования прогноза пассажиропотоков на ВСМ на наш взгляд необходимо применение технологии национального форсайта. Причины:

- Данная технология помогает прогнозировать процессы, возникающие на основании абсолютно новых, новейших технологий, проектов на длительную перспективу – от 20-30 лет;
- Технология форсайта включает учет мнений не только локальных стейкхолдеров, но и представителей смежных отраслей, государственных институтов на которые косвенно повлияет проект, населения всей страны, экономическое поведение которого может существенно измениться после запуска проекта;
- Данная технология позволяет сформировать конкретные дорожные карты по реализации таких проектов и приближению к видению будущего [6].

Строительство магнитолевитационной ВСМ, необходимо проводить на основании национального форсайта, поскольку основной пассажиропоток будут формировать туристы, приезжающие на курорты Кавказа, а это в первую очередь граждане России.

Результаты

Магистраль длиной 300 км пройдет через населенные пункты: Адлер, Красная Поляна, Архыз, Кисловодск, Ессентуки, Лермонтов, Минеральные Воды. Помимо этого, в 60 км от магистрали находится горнолыжный курорт Домбай, в 10 км город Карачаевск, из Кисловодска идет канатная дорога на горнолыжный курорт Эльбрус. Общее количество постоянно проживающего населения в зоне расположения проекта МВСМ в настоящее время составляет 3 млн. 182 500 человек. Это территории Краснодарского и Ставропольского краев, Республики Адыгея, Карачаево-Черкесской и Кабардино-Балкарской Республики. Суммарное количество туристов, посетивших данные курорты в 2015 году, составило 7430 тыс. человек [12]. По прогнозам Ростуризма к 2020 году эта цифра должна вырасти до 14900 тыс. человек [13].

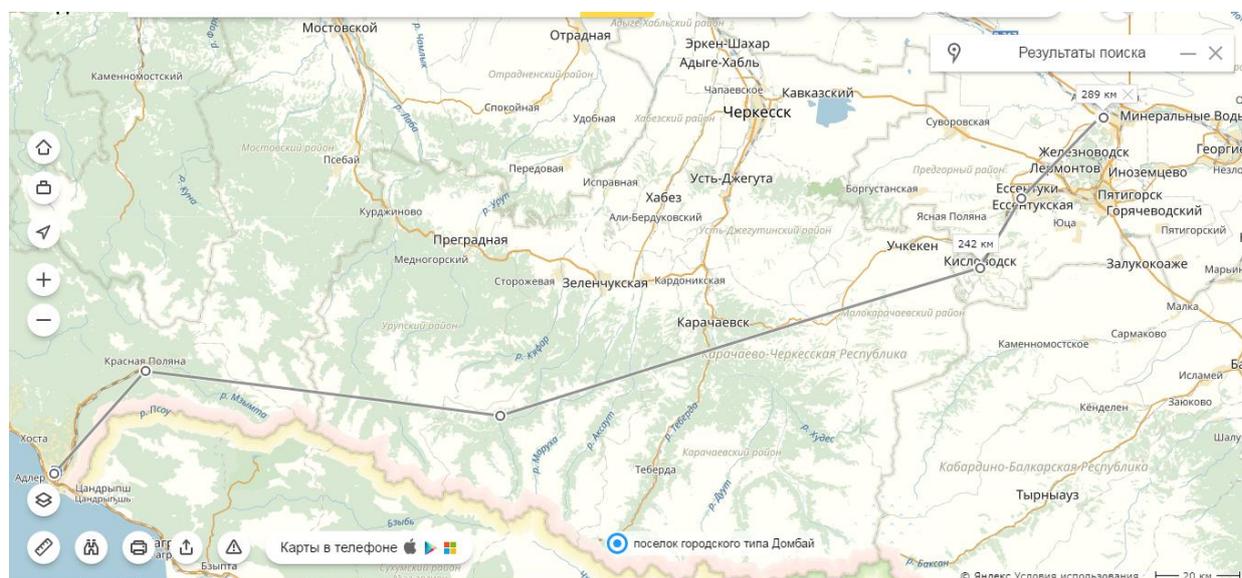


Рис. 1. Планируемая трасса прохождения линии МВСМ [10].

Результаты предварительных расчетов по проекту создания МВСМ с горизонтом планирования 40 лет представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов проекта создания МВСМ «Адлер – Кисловодск – Минеральные Воды»

Наименование	Ед. изм.	Значение
Горизонт планирования	лет	41
Необходимый объем инвестиций	млн. руб.	476 854
Удельные инвест.затраты на 1 км	млн. руб./км	1 589,5
Длина магнитолевитационной линии	км	300
Стоимость 1 поездки по всему маршруту	руб.	1000
Чистая приведенная стоимость (NPV)	млн. руб.	111 102

Общий экономический эффект от экономии времени в пути пассажиров МВСМ за горизонт планирования проекта.	млн. руб.	293 117,8 7
Бюджетная эффективность с учетом дисконтирования	млн. руб.	138 001
Внутренняя ставка доходности (IRR)	%	10,47%
Ставка дисконтирования	%	9
Индекс прибыльности (PI)	-	1,25
Период окупаемости проекта (PBP)	лет	14,10
Дисконтированный период окупаемости (DPBP)	лет	29,50
Рентабельность инвестированного капитала (ROIC)	%	16%

Преимуществами пассажирской системы на основе магнитолевитационной технологии в сравнении с другими видами транспорта, существующими на данном маршруте, а также с линией ВСМ на основе технологии «колесо-рельс» будут являться:

- Высокая приспособленность к ландшафту (преодоление подъема: Маглев – 10 %, ВСМ – 4 %; поворот на скорости 300 км/ч: Маглев – 1950 м пути, ВСМ – 3200 м) [1];

- Более высокая скорость перемещения с возможностью существенного увеличения скоростей в эксплуатационном режиме до 400 км/ч;

- Высокая экологическая безопасность (пониженный уровень шума, малые вихревые потоки, низкое негативное воздействие на окружающую среду).

- Цена билета – 1000 р. вместо минимального существующего сейчас тарифа в 1297 руб.

Прогнозируемый пассажиропоток будущей МВСМ будет включать в себя следующие категории пассажиров:

- Туристов, использующих МВСМ в качестве экскурсионного транспорта из Сочи на курорты Кавказских Минеральных Вод (КМВ) и обратно;

- Туристов, прибывающих в аэропорты Минеральных Вод и Адлера и использующих МВСМ в качестве скоростного трансфера на горнолыжные курорты Архыз, Домбай, Красная Поляна, Эльбрус;

- Туристов, использующих МВСМ в качестве скоростного трансфера из аэропорта до курортов КМВ и Сочи;

- Туристов, проводящих часть отдыха на курортах КМВ, часть – на побережье Черного моря и использующих МВСМ для перемещения между данными курортами;
- Туристов, перемещающихся между горнолыжными курортами в процессе своего отдыха;
- Пассажиров – жителей регионов в зоне тяготения МВСМ для поездок на работу, отдыха на курортах, по личным делам.

В результате проведенного 17-18 сентября 2016 года в группе социальной сети «Вконтакте» опроса [11] о предпочтительности использования МВСМ (в случае ее создания) при расчетном времени в пути 1.5-2 часа, стоимостью поездки 1000 руб. были получены следующие результаты: из 600 проголосовавших 2/3 респондентов воспользовались бы данным видом транспорта, 1/3 он не интересен. В комментариях пользователей соцсети к данному опросу прослеживается среди прочего и скептицизм к новизне, новым технологиям. Поэтому подобным проектам нужно мощное продвижение в СМИ, интернете, поддержка общественных деятелей, разъяснения о важности передовых технологий и предлагаемых ими возможностей для России в целом [7]. Для части населения как нашей страны, так и зарубежья этот проект был бы интересен с технической точки зрения. Люди будут пользоваться МВСМ, чтобы посмотреть на новый вид транспорта, получить впечатления от поездки.

Выводы

Реализация проекта МВСМ «Адлер – Кисловодск – Минеральные Воды» позволит дать мощнейший толчок к выполнению целевых показателей развития и посещаемости курортов Северного Кавказа заложенных в федеральных целевых программах. С появлением линии МВСМ 5 разрозненных курортов - Сочи, КМВ, Архыз, Эльбрус, Домбай - фактически превращаются в один крупный многофункциональный курортный кластер, предлагающий бальнеологические услуги, горнолыжные программы и отдых на море. Кластер будет иметь 2 аэропорта – Сочи и Минеральные Воды, связанные МВСМ, морской вокзал, и линии существующей железной дороги. МВСМ создаст рынок перевозок в между данными рекреационными объектами, который сейчас, по сути, отсутствует.

Ввод в строй такой магистрали повлечет за собой не только прямые, но и косвенные, мультипликативные эффекты - рост подвижности населения, рост бизнес-активности, расширение территории локального рынка труда, рынка недвижимости [2]. Также применению новейших транспортных технологий в России, накоплению опыта эксплуатации МВСМ и заделу инновационных транспортных решений на других маршрутах страны [4].

Увеличение скорости перемещения пассажиров/грузов повлияет на все процессы в рассматриваемом регионе: экономические, социальные, культурные, межличностные. Оно изменит в целом привычный уклад жизни, распорядок дня людей живущих в зоне ВСМ. Все эти факторы создадут дополнительный (индуцированный) спрос на перевозки, количество поездок увеличится в нелинейной прогрессии. Как показывают ранее выполненные в ОАО "РЖД" проработки, учитывающие мировой опыт, а также опыт организации высокоскоростного движения на модернизированной линии Санкт-Петербург – Москва, при строительстве специализированной высокоскоростной железнодорожной магистрали с максимальными скоростями 350-400 км/ч возможен двукратный прирост пассажиропотока [8].

Цена билета должна быть одним из наиболее конкурентных факторов наряду со скоростью перемещения по сравнению существующими видами транспорта в данном регионе [14].

С учетом достаточно высокого срока окупаемости (около 30 лет при ставке дисконта 9%) и значительных капитальных вложений (477 млрд. руб.) данный проект должен быть включен в федеральные целевые программы по развитию туризма в регионах Северного Кавказа. Финансирование проекта и организационная схема должны быть основаны на принципах государственно-частного партнерства с привлечением частных инвесторов в соответствии с Законом «О концессионных соглашениях в РФ».

Библиографический список

1. Зайцев А. А., Морозова Е. И., Талашкин Г. Н., Соколова Я. В. Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны. – СПб.: ПГУПС, 2015. – 160 с.
2. Зайцев А. А. Роль транспорта в становлении нового технологического уклада / А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов, Е. И. Морозова // Вестник транспорта. – 2015. – № 2. – С. 26-32.
3. Зайцев А. А. Экономика инфраструктуры для высокоскоростного движения / А. А. Зайцев, Г. Н. Талашкин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2013. – № 4. – С. 32-38.
4. Киселёв И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт: современные вызовы и перспективы развития // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 5. – С. 70-74.
5. Соколова Я.В. Оценка экономической эффективности проектов повышения скорости перемещения грузов и пассажиров / Я. В. Соколова // Развитие экономической науки на транспорте: скорость как экономическая категория: сб. докл. III науч.-практич. конф. (Санкт-Петербург, 6 июня 2014 г.) / под общ. ред. д-ра экон. наук, проф. Н. А. Журавлевой. – Киров: МЦНИП, 2015. – С. 251-256.

6. Третьяк В. П. Основы форсайта. Учебное издание / под ред. Третьяка В. П. – М: Инфра-М. 2015. – 268 с.
7. Якунин В. И. В будущее России – с высокой скоростью. Монография. – М.: Научный эксперт, 2012. – 216 с.
8. Инвестиционный меморандум строительства участка «Москва - Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Екатеринбург». – М.:ОАО «Скоростные магистрали», 2014.
9. Интернет - портал «Авиапорт». – URL: <http://www.aviaport.ru/> (дата обращения: 15.09.2016).
10. Информационная картографическая служба ООО «Яндекс». – URL: <https://yandex.ru/maps/> (дата обращения: 15.09.2016).
11. Результаты опроса на тему: «Воспользовались бы Вы высокоскоростной пассажирской магистралью «Сочи – Кисловодск – Минеральные Воды» с временем в пути 1.5-2 часа, стоимостью поездки 1000 руб., если бы такая появилась в России?» / Группа социальной сети «ВКонтакте» – URL: https://vk.com/wall-455371_333295 (дата обращения: 15.09.2016).
12. Росстат РФ. – URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 15.09.2016).
13. Ростуризм РФ. – URL: <http://russiatourism.ru> (дата обращения: 15.09.2016).
14. Стратегия инновационного развития ОАО РЖД. – URL: <https://www.rzd.ru> (дата обращения: 15.09.2016).

References

1. Zaitsev A. A., Morozova E. I., Talashkin G. N. & Sokiliva Ya. V. Magnitolevitatsionniy transport v edinoi transportnoy sisteme strany. [Magnetogravitational transport in uniform transport system of the country]. St. Petersburg, 2015. 160 p.
2. Zaitcev A. A., Antonov Y. F. & Morozova E. I. *Vestnik transporta – Vestnik of transport*, 2015, no. 2. pp. 26–32.
3. Zaitcev A. A. & Talashkin G. N. *Bulluten` rezultatov nauchnih issledovaniy – Bulletin of research results*, 2013, no. 4, pp. 32–38.
4. Kiselev I. P. *High speed rail: challenges and prospects – the Railway transport*, 2013, no. 5, pp. 70–74.
5. Sokolova Ya. V. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti proektov povisheniya skorosti peremescheniya грузов i passazhirov. (Estimation of economic efficiency of projects to increase the speed of movement of goods and passengers). *Razvitie ekonomicheskoy nauki na transporte: skorost` kak ekonomicheskaya kategoriya. III nauchno–practicheskaya konferentsia* [Development of Economics in transport: the rate as an economic category. III practical. Conf.]. Kirov, 2015, pp. 251–256.
6. Tretyak V. P. *Osnovy forsaita* [Fundamentals of foresight]. Moscow, 2015. 268 p.
7. Yakunin V. I. *V budushee Rossii – s vysokoy skorost`yu* [To Russia's

future – at high speed]. Moscow, 2012. 216 p.

8. Investicionnyj memorandum stroitel'stva uchastka «Moskva - Kazan'» vysokoskorostnoj zheleznodorozhnoj magistrali «Moskva – Ekaterinburg» [Investitsionnyi Memorandum stroitel'stva uchastka “Moskva – Kazan` visokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali “Moskva – Ekaterinburg” [Investment Memorandum of construction of “Moscow-Kazan” high-speed railway "Moscow – Yekaterinburg"]. Moscow, 2014, JSC "Highways".

9. Internet-portal “AviaPort” [Internet portal "AviaPort"]. URL: <http://www.aviaport.ru/>.

10. Informatsionnii kartograficheskii servis “Yandex” [Information map service "Yandex"]. URL: <https://yandex.ru/maps/>.

11. Rezultaty oprosa na temu: “Vospolzovalis` by Vy vysokoskorostnoy passazhirskoy magistral`yu “Sochi – Kislovodsk – Mineralnie Vody” s vremenem v puti 1.5-2 chasa, stoimost`yu poezdki 1000 rub., esli by takaya poyavilas` v Rossii?”. Gruppa sotsialnoi seti “Vkontakte” [The results of the survey the survey on the topic: "would you high-speed passenger line "Sochi – Kislovodsk – Mineral Waters" with travel time 1.5-2 hours, the fare was 1000 RUB., if such there in Russia?" Group social network "Vkontakte"]. URL: https://vk.com/wall-455371_333295.

12. Rosstat RF [Rosstat Russian Federation]. URL: <http://www.gks.ru/>.

13. Rosturizm RF [The Federal Agency for tourism of the Russian Federation]. URL: <http://russiatourism.ru>.

14. Strategiya innovatsionnogo razvitiya OAO RZD [Strategy of innovative development of JSC RZD]. URL: // www.rzd.ru.

Сведения об авторах:

ЗАЙЦЕВ Анатолий Александрович, д.э.н. профессор кафедры «Электрическая тяга» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Руководитель Научно-образовательного центра инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок
E-mail: nozpgups@gmail.com

ТРОИЦКИЙ Павел Сергеевич, аспирант кафедры «Электрическая тяга» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
E-mail: paveltroickiy@mail.ru

Information of authors:

Anatoly A. ZAITSEV, Doctor of Economic Sciences, professor of the Department of "Electric traction" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Head of the Scientific-educational center of innovative development of railway passenger transportation
E-mail: nozpgups@gmail.com

Pavel S. TROITSKIY, postgraduate of the Department of "Electrical traction" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
E-mail: paveltroickiy@mail.ru

УДК 629.4

Е. А. Милованова, И. А. Любченко, А. И. Милованов

Иркутский государственный университет путей сообщения

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «МОНОЛЁТ»

Дата поступления: 28.11.2016

Решение о публикации 30.11.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Воплощая в себе сочетание конструкторских идей в области развития надземных подвесных транспортных систем, транспортная система «МОНОЛЁТ» предполагает реальность достижения прогнозируемых перспектив её практического исполнения, таких, как:

- эффективное освоение жизненного пространства зоны Сибири, Дальнего Востока и Севера страны;

- укрепление обороноспособности страны созданием разветвлённой сети оборонных объектов, связанных между собой транспортной системой, в состав которой входят высокоскоростные и грузоподъемные мобильные средства доставки войск и военной техники;

- возвращение к жизни «сосланных на стоянку» отечественных авиационных транспортных средств и придания стимулирующего импульса оживлению отечественного гражданского самолётостроения;

- создание нового широкого поля деятельности для инноваций в области науки и техники; обеспечение технологического прорыва, отвечающего задачам импортозамещения;

- изменение в мировом общественном мнении репутации страны, как поставщика сырья, выходом на мировой рынок с предложением транспортных услуг (в противовес, например, китайскому «шёлковому пути»), а также новых транспортных средств гражданского назначения;

- содействие росту и укреплению возрождающегося в стране чувства патриотизма, и обеспечение подрастающему поколению поля достойной трудовой деятельности в будущем, стимулированием мотивации молодёжного технического творчества.

Ключевые слова: жизненное пространство, обороноспособность, стимулирующий импульс, репутация, рост.

Evgeniya A. Milovanova, Irina A. Lyubchenko, Alexei I. Milovanov

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

Irkutsk State Transport University

**PERSPECTIVES OF PRACTICAL REALIZATION OF THE TRANSPORT
SYSTEM «MONOJET»**

Abstract: As transport system «Monojet» includes design ideas in the field of development of over ground suspended transport systems it will allow:

- to master effectively vital space of Siberia, the Far East and North of the country;
- to strengthen defence potential of the country: to create the network of defence objects connected by the transport system including high speed and lifting mobile means of military technique and troops delivery;
- to revive native aircraft vehicles which are not in operation now and to stimulate the building of native civil aircraft construction;
- to create possibilities for innovations in the field of science and technique; to ensure technological progress in order to solve the import replacing tasks;
- to change in the world public opinion the reputation of the country as supplier of raw material proposing transport services (to counterbalance, for example, Chinese «Silk Road») and new transport means for civil purposes;
- to contribute to the growth and strengthening of patriotism and to provide the rising generation with fair working activity in the future by stimulating motivation of the youth technical creation.

Key words: vital space, defense potential, stimulation pulse, reputation, growth.

Введение

Краткий обзор патентной информации о технических решениях, развивающих и совершенствующих идею подвешенного транспорта, позволил, по результатам случайной выборки, выделить из их многообразия решения, обобщенно отражающие конструкторские идеи, перспективные для выполнения намеченных целей. Вот некоторые из них:

Известно **«Воздушное средство, предназначенное для перемещения по заданному пути» (патент Франции N1.409.728.)**, представляющее собой летательный аппарат, траектория перемещения которого в пространстве определяется трассой подвешенного на опорах пути - аналога канатной подвешенной дороги. При этом путь воспринимает часть веса транспортного средства, которая может оказаться незначительной при реализации на крыле достаточной подъемной силы. Это позволяет выполнить путь облегченным. Постоянное положение направляющего пути, определяющее постоянство ориентирования транспортного средства при движении в пространстве, ограниченном опорами, позволяет обеспечить электрическое питание силовой установки, чем повышается энерговооруженность транспортного средства.

Известна **«Воздушная транспортная система инженера В.Н. Андрейченко» по авторскому свидетельству СССР N 770890**, в которой летательный аппарат легче воздуха, снабженный воздушными двигательными установками, перемещается в пространстве вдоль жестких направляющих балансиров пути следования, подвешенного на опорах. Связь летательного аппарата с направляющими балансирами осуществляется посредством шарнирных соединений поворотных рамных тележек.

Известна **«Воздушная транспортная система» по авторскому свидетельству СССР N 885087**, в которой летательный аппарат, снабжённый воздушными двигательными установками, перемещается в пространстве вдоль направляющих тросов, подвешенных на опорах и снабжённых токонесущим проводом. Связь летательного аппарата с направляющим тросом осуществляется посредством кабеля с токоприёмником.

Известен **«Экранолёт» (заявка ФРГ N 2327024)**, корпус которого снабжён крылом, создающим при движении аэродинамическую подъёмную силу, и связан с монорельсом, выполняющим роль неподвижного пути следования, посредством неразъёмного шарнирного соединения и колёс шасси, выходящих из контакта с монорельсом после появления на крыле достаточной подъёмной силы.

Известен **«Способ создания летательного аппарата на магнитной подушке» по заявке на изобретение РФ № 2013133317**, согласно которому летательный аппарат выполняют в форме эллипсоида, состоящего из двух половин, при относительном движении (вращении) которых создают подъёмную силу, пропорциональную напряжённости магнитных полей Земного шара и летательного аппарата.

Известна **транспортная система «Транспорт монорельс-тетраэдр» по патенту РФ на изобретение № 2374102**, в которой транспортный модуль представляет собой несущую платформу для перевозки различных грузов, а опорный монорельс равномерно-прямолинейно опирается через модули-тетраэдры на сваи-шпалы в грунте, и имеют стартовые горки и финишные противоклоны.

Известен **«Летательный аппарат на основе дирижабля с электродвигателем» по патенту РФ на изобретение № 2478518**, использующий подъёмную силу несущего газа, конструкция которого содержит корпус, крылья, секционную канальную ветряную станцию с ветряным каналом, ветряное колесо которого преобразует энергию воздушного потока в электрическую, питающую ветряное колесо горизонтальной тяги.

Известен **прогулочный дирижабль «Воздушный троллейбус» по заявке на изобретение РФ №2012128487**, двигатель которого снабжён соединительным тросом, связанным с направляющими с возможностью перемещения вдоль них; при этом направляющие расположены параллельно друг другу на опорах, установленных на поверхности земли.

Известен **«Аэродинамический транспорт»**, содержащий компрессор, пневмотрубу, в которой установлены электромеханические исполнительные элементы, в качестве которых могут быть использованы электродвигатели, электромагниты и т.д., с закреплёнными на них заслонками, управляющими напором газа из сопел, грузовую или

пассажирскую платформу, с установленными на её дне направляющими и выдвижные шасси.

Общим достоинством перечисленных технических решений, кроме указанных в общей характеристике канатных и монорельсовых железных дорог [1,2], является их способность оказывать минимальное давление на путь при движении в его направляющих. Существенной добавкой к повышению энерговооружённости транспортного средства является возможность снабдить путь токопроводом, использованной в патенте Фр.№ 1.409.728, в а.с. СССР №№ 770890, 885087 и в заявке на изобретение РФ №2012128487.

Однако, несущая способность транспортных систем, вошедших в обзор, как и вообще надземных подвесных путей сообщения, - ограничена, при условии обеспечения большой весовой отдачи в грузовых перевозках и при загрузке их обычным способом: без дополнительных технических средств, на стоянке. Из-за чего, осуществление грузовых перевозок на большие расстояния с их помощью - неэкономично.

Транспортная система «Монолёт» [3] устраняет этот недостаток, воплощая в себе основные конструкторские идеи, способствующие развитию надземных подвесных транспортных систем:

- использование электроэнергии для создания движущей силы; при этом источник питания располагается стационарно вне подвижного транспортного средства и связан с ним гибким токонесущим путём следования, что отвечает требованиям энергосбережения и экологии;

- применение в конструкции транспортного средства технических средств, обеспечивающих снижение давления на путь следования, что существенно снижает стоимость работ по его строительству и содержанию.

Перспективы практической реализации транспортной системы «Монолёт» в рациональных сферах жизнедеятельности страны

1. *Эффективное освоение жизненного пространства зоны Сибири, Дальнего Востока и Севера страны.*

На передний план, при этом, выходят перспективы освоения труднодоступных районов планеты. Зона Восточного Зауралья России выше 60-й параллели, почти целиком, представлена этими районами, почти не прикрытыми населением и системой контроля и защиты. У некоторых представителей развитых государств Европы и Америки руки чешутся научить этих русских правилам хозяйствования, не говоря уже о разгорающихся в мире «аппетитах» к обладанию арктическими территориями. Развитие транспортной системы «Монолёт» откроет возможности доступа в эти районы путём создания высококомобильной сети

опорных базовых пунктов, обеспечив поддержание жизнедеятельности северных городов страны, в частности, решением извечной проблемы северного завоза. Возрастающее напряжение в международных отношениях выдвигает эту задачу в число первоочередных для сохранения территориальной целостности России.

2. Укрепление обороноспособности страны.

Исторический опыт существования Государства Российского свидетельствует о присущем его огромной территории свойстве: являться существенным фактором, дополнительным, помимо вооружения, ресурсом обороноспособности страны. Естественно стремление к усилению этого ресурса созданием разветвлённой, глубоко эшелонированной в меридиональном направлении, сети оборонных объектов, связанных между собой транспортной системой, в состав которой входят высокоскоростные и грузоподъемные мобильные средства доставки войск и военной техники. Эффективное рассредоточение военного потенциала по всей территории страны, с возможностью мгновенной концентрации его при возникновении местных очагов напряжённости, представляющих военную опасность, повышает степень неуязвимости и поддержания высокой боеготовности, при относительно невысоких затратах на содержание армии. Фактически обеспечивается рациональный переход от стационарной системы наземного базирования средств обороны к надземной подвижной подвесной системе. Совмещение в транспортном средстве качеств высокой энерговооружённости, грузоподъёмности, маневренности, высоких скоростных качеств, позволяет использовать его, как сухопутный, практически не сбиваемый, авианосец, или, как подвижную пусковую ракетную установку (развитие идеи ракетной установки на базе железнодорожного транспортного средства), обладающую собственными техническими характеристиками, сравнимыми с характеристиками крылатой ракеты в части грузоподъёмности, значительно их превосходящими.

3. Придание стимулирующего импульса возрождению и развитию отечественного гражданского самолётостроения.

Исследования, необходимые для осуществления реального конструирования системы «Монолёт», невозможны без возвращения к жизни «сосланных на стоянку» отечественных авиационных транспортных средств (прекрасных творений отечественных авиаконструкторов, таких, как ТУ-134, ТУ-154 и др.). Наряду с располагаемым огромным опытом России в построении ЛЭП (чем не прототип гибкого токонесущего пути следования для системы «Монолёт?»), с учётом создания **первой в мире грузовой транспортной системы на принципе магнитной левитации** [4] (чем не разгонный – тормозной участок пути следования «Монолёта?»), при наличии прототипа корпуса «Монолёта» в виде вновь востребованного отечественного самолета, оказывается, что экспериментальная база для

реального конструирования и отработки конструкции новой транспортной системы уже имеется и простаивает, ожидая решительных действий Министерства транспорта.

4. *Создание нового широкого поля деятельности для инноваций в области науки и техники*

Развитие транспортных систем с «Монолётом» в качестве ключевого элемента откроет новые горизонты в области научно-технического прогресса. В первую очередь это относится к совершенствованию существующих и разработке новых систем автоматического регулирования и управления процессов, связанных с движением. Обязательно решение на новом уровне проблем энергоснабжения с применением, например, оптико-волоконной и лазерной техники для передачи энергии на значительные расстояния, в том числе, и с использованием бесконтактных способов, с целью обеспечения бесперебойного питания силовых установок транспортных средств. С развитием магнитолевитационных транспортных систем, интенсивное развитие получили исследования в разработке средств и способов бесконтактной передачи энергии, таких, например, как:

- **«Устройство для бесконтактной передачи электрических сигналов и/или энергии»** по заявке на изобретение РФ № 99116369,
- **«Способ бесконтактной передачи энергии для электропитания потребителей»** по заявке на изобретение РФ № 2006118278,
- **«Устройство и способ бесконтактной передачи электрической энергии на электротранспортное средство»** по патенту РФ на изобретение № 2490146;
- в качестве резервного средства обеспечения непрерывного энергопитания в процессе движения может быть применено **«Автономное зарядное устройство»** по патенту РФ на полезную модель № 146462.

Очевидна потребность поиска новых источников энергии и способов их эксплуатации. В числе перспективных, малоосвоенных источников можно назвать энергию воздушных и морских течений, энергию атмосферного электричества, энергию электромагнитного поля земли в бесконтактной системе передачи энергии на борт транспортного средства. Уже не выглядит фантастикой идея создания управляемых потоков энергии электромагнитного поля для перемещения транспортных средств, помещённых в эти потоки. При этом, малая плотность населения в регионах предполагаемого базирования транспортных систем, типа «Монолёт», становится дополнительным фактором безопасности процесса их эксплуатации.

Плановая и систематическая работа по разработке перспективных направлений в области науки и техники гарантируют обеспечение

технологического прорыва, отвечающего задачам правительственной программы импортозамещения.

5. Перспектива выхода на мировой рынок с предложением транспортных услуг

Возможности соблюдения высоких темпов строительства предлагаемой транспортной системы, при относительно низкой себестоимости, обусловленной исключением необходимости создания, в качестве опорного элемента системы, сплошного земляного полотна, а также соответствие высокому уровню требований со стороны экологии, за счет использования электроэнергии для обеспечения движения, обеспечивают «Монолёту» высокие конкурентные качества (в противовес, например, китайскому «шёлковому пути») на мировом рынке транспортных услуг, а также новых транспортных средств гражданского назначения, способствуя изменению в мировом общественном мнении репутации страны, как поставщика сырья.

6. Обеспечение подрастающему поколению поле достойной трудовой деятельности в будущем

Реализации идеи, на начальной стадии, должна осуществляться по линии молодежного творчества в рамках правительственной программы «Молодежь России». Прогнозируемая успешность такого подхода имеет историческое обоснование в примерах комсомольских строек: Магнитка, Братская ГЭС, БАМ и т.д. Свою историю забывать нельзя.

Сегодня в стране возрождается чувство патриотизма, необходимо содействовать его росту и укреплению стимулированием мотивации молодёжного технического творчества.

Совершенно ясно, что вложение средств на этом направлении – абсолютно беспроигрышное предприятие при любом конечном результате выполненной работы.

С полной уверенностью можно утверждать техническую возможность, а, учитывая острую потребность страны в развитии новых транспортных связей, и экономическую целесообразность создания предлагаемого вида транспорта [5-10].

Решение задачи создания надежных транспортных связей в зоне Сибири, Дальнего Востока и Севера страны на нетрадиционных для России направлениях, в том числе и транспортную систему «Монолёт», следует начинать, взяв за базовую железнодорожную транспортную систему, как наиболее эффективную для осуществления магистральных перевозок, резко повысив качество научно-технического обеспечения. При этом целесообразно создание единой комплексной опытно-экспериментальной базы для решения исследовательских задач с учётом тесной интеграции видов транспорта в транспортной системе страны.

Библиографический список

1. Коновалов В. С. Области эффективного взаимодействия специальных и универсальных видов транспорта / В. С. Коновалов, Т. В. Короткина, И. В. Рогожина. – М.: Транспорт, 1977. – 420 с.
2. Чиркин В. В. Пассажирские монорельсовые дороги / В. В. Чиркин, О. С. Петренко, А. С. Михайлов, Ю. М. Голонен. – М.: Машиностроение, 1969. – 280 с.
3. Милованов А. И. Железнодорожное транспортное средство "Монолет" // Патент РФ № 2104891. Бюл. № 5. 1998.
3. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: Труды 2-й международной научной конференции, Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 5-16. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 31.10.2016).
4. Милованова Е. А. Взгляд на перспективы развития в Восточной Сибири нетрадиционных транспортных систем / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов // Сборник материалов Байкальского экономического форума. – Иркутск, 2000. – С. 166-173.
5. Милованова Е. А. Поиск новых путей развития / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов // Мир транспорта. – М., 2009. – № 4 (28). – С. 36-43.
6. Milovanova E. A., Milovanov A. A., Milovanov A. I. In search of new ways of railway transport development in Russian East Trans-Urals // Korea Russia joint conference for Euro-Asian trunk-railway problems and prospects. KAIA/ KRRI/ Seoul Tech, Irkutsk State Transport University. Seoul-Irkutsk, 2015. pp. 126-133.
7. Милованова Е. А. Поиск новых путей развития транспортной системы в зоне Восточного Зауралья России / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: Труды 2-й международной научной конференции, Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 113-125. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 31.10.2016).
8. Milovanova E. A., Milovanov A. A., Milovanov A. I. New Ways of Railway Transport Development // New Industrialization and Urbanization Development Annual Conference. The International Forum on New Industrialization / Development in Big-data Era. Science Press. Beijing, P.R.China. 2015. – pp. 471-478.
9. Милованова Е. А. Подходы к созданию транспортной системы «МОНОЛЁТ» / Е. А. Милованова, А. А. Милованов, А. И. Милованов // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2016. – вып. 3(5).

– С. 65-89. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html> (дата обращения 31.10.2016).

References

1. Konovalov V. S., Korotkina T. V. & Rogozhina I. V. Oblasti ehffektivnogo vzaimodejstviya special'nyh i universal'nyh vidov transporta [Districts of effective interaction of special and universal transport types]. Moscow, 1977. 420 p.

2. Chirkin V. V., Petrenko O. S., Mihailov A. S. & Golonen Y. I. Passazhirskie monorel'sovye dorogi [Passenger telpher tracks. Machinebuilding]. Moscow, 1969. 280 p.

3. Milovanov A. I. Zheleznodorozhnoe transportnoe sredstvo "Monolet" [Railway vehicle "Monojet"]. Patent R.F. №2104891. 1998.

4. Zaitsev A. A. Gruzovaya transportnaya platforma na magnitolevitacionnoj osnove: opyt sozdaniya [Cargo-Carrying Transport Platform Based on Magnetic Levitation: Experience of creation]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii" MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference "Magnetocavitation transport systems and technologies" MTST'14). Kirov, 2014, pp. 5–16. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

5. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. Vzglyad na perspektivy razvitiya v Vostochnoj Sibiri netradicionnyh transportnyh sistem [Views on alternative transport systems development in the East Siberia]. *Sbornik materialov Bajkal'skogo ehkonomicheskogo foruma (Proceedings of Baikal economic forum. Irkutsk)*. Irkutsk, 2000, pp.166–173.

6. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. *Mir transporta – World of transport*, Moscow, 2009, no. 4 (28), pp. 36–43.

7. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. In search of new ways of railway transport development in Russian East Trans-Urals. *Korea Russia joint conference for Euro-Asian trunk-railway problems and prospects. KAIA KRRI Seoul Tech. Irkutsk State Transport University*. Seoul-Irkutsk, 2015, pp. 126–133.

8. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. Poisk novyh putej razvitiya transportnoj sistemy v zone Vostochnogo Zaural'ya Rossii [In search of new ways of transport system development in the area of the Russian Eastern Trans-Urals]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii" MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference "Magnetocavitation transport systems and technologies" MTST'14). Kirov, 2014. pp. 113–125. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

9. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. New Ways of Railway Transport Development. Development Annual Conference “New Industrialization and Urbanization”. The International Forum on New Industrialization Development in Big-data Era. Science Press. Beijing, 2015, pp. 471–478.

10. Milovanova E. A., Milovanov A. A. & Milovanov A. I. *Transportnye sistemy i tekhnologii – Transportation Systems and Technology*, 2015, pp. 65–89. URL: <http://www.transstyst.ru/tekushiy-nomer3.html>.

Сведения об авторах:

МИЛОВАНОВА Евгения Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭПС, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
E-mail: evakami@yandex.ru

ЛЮБЧЕНКО Ирина Алексеевна, студентка, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
E-mail: lubchenco.i@yandex.ru

МИЛОВАНОВ Алексей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры ФМиП, Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)
E-mail: amilovanov@irgups.ru; milovanov2001@mail.ru

Information about authors:

Evgeniya A. MILOVANOVA, Ph.D. (Tech), associate professor of the department EPS, Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)
E-mail: evakami@yandex.ru

Irina A. LYUBCHENKO, student of the Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)
E-mail: lubchenco.i@yandex.ru

Alexei I. MILOVANOV, Ph.D. (Tech), associate professor of the department FViP Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)
E-mail: amilovanov@irgups.ru; milovanov2001@mail.ru

УДК 338.24

Н. А. Аксенов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ В РОССИИ: MAGLEV

Дата поступления: 12.11.2016

Решение о публикации: 28.11.2016

Дата публикации: 26.12.2016

Аннотация: В статье приведены преимущества магнитолевитационного транспорта в сравнении с другими видами транспорта. Проанализирована по годам оценка стоимости строительства магнитолевитационной магистрали.

Введение: В статье содержатся достигнутые результаты исследований по возможному применению магнитолевитационных технологий на транспорте. В статье рассмотрены работы, необходимые для осуществления проекта по созданию грузовой магистрали с применением технологии магнитной левитации.

Цель: обоснование необходимости применения магнитолевитационных технологий для развития высокоскоростного движения в России.

Метод: Рассматривается основополагающий документ: «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» для разработки сетевого графика проекта строительства грузовой магистрали с применением технологии магнитной левитации. Представлены возможные риски, которые могут повлиять на проект.

Результаты: Реализация контейнерных грузоперевозок магнитолевитационным транспортом позволит удовлетворить растущий спрос на грузовые перевозки, сократить время доставки грузов в пути следования.

Выводы: Реализация проекта позволит повысить эффективность транспортной системы, снизить совокупные затраты и создать базу для дальнейшего развития аналогичных проектов на территории России и за рубежом.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, магнитолевитационные технологии, грузовые перевозки, магнитная левитация, контейнерные грузоперевозки, грузовая магнитолевитационная магистраль, проект, сетевой график, риски, инновационные технологии.

Nikita A. Aksenov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

DEVELOPMENT OF HIGH TRAFFIC IN RUSSIA: MAGLEV

Abstract: The article presents the advantages Maglev transport compared with other modes of transport. Analyzed data estimate the cost of construction magnitolevitatsionnoy highway.

Introduction: This article describes the results achieved by the possible use of magnitolevitatsionnyh technologies in transport. The article describes the work required for the project to establish a freight line using Maglev technology.

Goal: the rationale for the use of magnitolevitatsionnyh technologies for the development of high-speed movement in Russia.

Method: It considered the founding document: "Transport Strategy of the Russian Federation for the period till 2030" for the development of the network schedule of the project construction of highway trucks using magnetic levitation technology. It presents potential risks that may affect the project.

Results: Implementation of container cargo transport magnitolevitatsionnym will meet the growing demand for cargo transportation, reduce the time of delivery of goods in transit.

Conclusions: The project will improve the efficiency of the transport system, reduce total costs and create a basis for further development of similar projects in Russia and abroad.

Keywords: magnitolevitatsionny transport magnitolevitatsionnye technology, freight transportation, magnetic levitation, container cargo, cargo magnitolevitatsionnaya highway project network schedule, risks, innovative technologies.

Введение

В настоящее время взаимодействие «колесо-рельс» с позиции скорости, комфорта и экономики практически не имеет резервов улучшения. Магнитолевитационный транспорт сочетает в себе лучшие технические характеристики, такие как скорость, динамическая нагрузка и пропускная способность. Создание магнитолевитационного транспорта вышло на новый уровень. Следует подчеркнуть, что перевозками с использованием магнитной левитации как перспективным и интересным направлением заинтересовались в ОАО «РЖД» [7].

Новый вид транспорта позволит снизить загруженность автомобильных и железнодорожных магистралей. Предполагается, что вследствие девальвации рубля цена контейнерных грузоперевозок, в пересчете на валюту, в России будет снижаться, что в свою очередь может положительно повлиять на увеличение спроса контейнерных грузоперевозок [14]. При увеличении спроса на контейнерные грузоперевозки по территории России возможен рост конкурентоспособности страны на рынке международных контейнерных грузоперевозок [9, 4].

Методы

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 17.06.2008 № № 877-р "О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года" предполагается развитие высокоскоростного движения. К задачам по развитию высокоскоростного движения в России относятся [5]:

разработка комплекса технических регламентов и национальных стандартов с учетом мирового опыта проектирования, строительства и эксплуатации скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта;

разработка и реализация системы финансового обеспечения проектов с учетом возможного использования различных источников инвестиций, определение роли и форм участия государства и частных инвесторов в реализации проектов скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей;

разработка и производство технических средств нового поколения для скоростных и высокоскоростных магистралей, включая инфраструктуру и подвижной состав;

подготовка кадров для обеспечения скоростного и высокоскоростного движения.

При этом следует учитывать, что некоторые виды транспорта не смогут справиться с объемами контейнерных грузоперевозок в силу инфраструктурных ограничений. Сегодня значительный объем грузов, перевозимых контейнерами, из Санкт-Петербурга и Ленинградской области поступает в Москву. Более 90% из них перевозится автотранспортом. По некоторым данным количество перевозимых контейнеров через 3 года увеличится в 2-3 раза [5]. Можно предположить, что существующая транспортная система не сможет справиться с таким объемом работ. Следовательно, возрастут затраты на перевозку грузов.

В качестве альтернативы целесообразно рассмотреть строительство грузовой магнитолевитационной магистрали, которая даст возможность создать почву для реализации аналогичных проектов не только в России, но и за рубежом.

В связи с новизной технологии и уникальностью ее конструирования для грузового движения, прямая оценка потребных объемов инвестиций затруднена. С каждым годом стоимость строительства 1 км магнитолевитационной магистрали снижается, и предположительно эта тенденция сохранится и в дальнейшем.

Расчет стоимости строительства грузового Маглева для порта Лос-Анджелес на трассу длиной 7,5 км (в два направления) в 2006 году выявил необходимость в инвестициях в размере 550 млн. долларов США, что,

приблизительно, составляло 73,3 млн. долларов США (2 052,4 млн. руб.) на 1 км.

Стоимость строительства магнитолевитационной линии для штата Колорадо в 2013 году по оценке экспертов обошлась в 23,6 млн. долларов США (755,2 млн. руб.) на 1 км [2].

Оценка объемов инвестиционных вложений в грузовой Маглев Усть-Луга – Москва, осуществленная в 2014 году компанией EMMI Logistics Solutions (США), составила 1 550 млн. руб. на 1 км.

По оценке экспертов из Института экономики и развития транспорта на 2015 год в мире стоимость строительства магнитолевитационной магистрали колебалась в пределах 20–100 млн. евро за 1 км. В российских условиях может быть принята оценка в нижнем диапазоне, что составляет 1 352 млн. руб.

В табл. 1 для сравнения приведены некоторые технико-экономические показатели магнитолевитационного и традиционного видов транспорта [2].

Таблица 1. Техничко-экономические показатели магнитолевитационного и традиционного видов транспорта для пассажирского движения (по данным «Transrapid ThyssenKrupp GmbH»)

Параметр	Магнитолевитационная трасса	Железная дорога	Автомобильная магистраль
Площадь отчуждаемой земли на 1 км пути, 10^3 м^2	14	27	42
Энергопотребление при загрузке транспорта 75%, (Вт/ч)/(пасс.-км)	130 (скорость 150 км/ч)	180 (скорость 150 км/ч)	330 (скорость 150 км/ч)
Выброс вредных веществ в атмосферу, г/(пасс.-км)	0,4	0,4	2,8
Уровень шума, дБ, при скорости км/ч:			
100	65	83	76
160	70	86	80

Результаты

На основании представленных данных в табл. 1 можно сделать вывод о качественном превосходстве магнитолевитационного транспорта над железнодорожным и автомобильным видами. Система магнитолевитационного транспорта отличается самым низким уровнем

воздействия на окружающую среду по сравнению с другими транспортными системами [3]. Это относится и к площади, необходимой для размещения инфраструктуры, и к удельным энергозатратам, и к выбросам CO₂, и к шумовому загрязнению. Большое значение имеет воздействие транспортной магистрали на окружающую среду при прохождении лесов, пересечении рек и болот. Эстакада позволяет делать это практически без ущерба для флоры и фауны. Не нарушается водный режим, сохраняются пути миграции животных и т. п. Это позволяет в отдельных случаях прокладывать магнитолевитационные трассы по территориям с особым статусом (заповедникам, заказникам и другим особо охраняемым территориям) [2].

На данный момент отсутствует мировой опыт применения технологии магнитной левитации для перевозки грузов, поэтому Россия имеет все шансы стать первой страной, которая применила данную технологию.

Отечественная история технологии магнитной левитации начинается в 1911 г. [2]. Профессор Томского технологического института Б. П. Вайнберг построил установку, в которой применил электромагнитный подвес и линейный синхронный электродвигатель. В дальнейшем велись разработки по применению технологии магнитной левитации на транспорте при поддержке Государственной научно-технической программы. Переход на следующий этап проекта после испытаний технологии магнитолевитационного транспорта на участке не был осуществлен, это было связано с политической и экономической ситуациями в стране [2].

На сегодняшний день есть основания предполагать, что внедрение магнитолевитационных технологий на транспорте вполне осуществимо. В Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I и Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова уже не первый год проводятся исследования и разработки, связанных с применением магнитолевитационной технологии на транспорте. В частности, был создан полномасштабный опытный образец – грузовая магнитолевитационная платформа для трассировки крупнотоннажного контейнера. Конструкция находится в левитационном состоянии на высоте 25 мм над путевой структурой [6]. Проведено натурное моделирование, решена задача создания непрерывной магнитной левитации от нулевой скорости до заданной; найдены решения, которые позволяют снизить расход электроэнергии на обеспечение левитации и движения по сравнению с технологией «колесо-рельс» [8].

Для реализации проекта по созданию грузовой магистрали с применением технологии магнитной левитации необходимо:

- 1) определить участников проекта;

- 2) построить площадку для проведения испытаний;
- 3) создать требования к новому виду транспорта, которые будут соответствовать установленным нормам и стандартам;
- 4) подготовить кадры;
- 5) определить организационную и финансовую модели проекта.

При наличии понимания инвестором и заинтересованными сторонами хода реализации проекта следует разработать сетевой график выполнения работ, который будет служить моделью производственного процесса, показывающей зависимость и последовательность выполнения работ, связывающих реализацию во времени с учетом затрат ресурсов и стоимости работ с выделением «узких мест» [1].

Основой и примером разработки сетевого графика проекта создания грузовой магистрали с применением технологии магнитной левитации может служить «Сетевой план-график мероприятий реализации проекта строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва-Казань» [11]. На его основании возможно разработать и описать этапы проекта магнитолевитационной магистрали.

Существуют риски, которые могут существенно повлиять на реализацию проекта [12]. Среди них:

1) Риск противодействия проекту государственными органами. В результате непринятия общей концепции магнитной левитации возможно противодействие реализации проекта на стадиях актуализации нормативно-правовой базы, согласования маршрута магнитолевитационной трассы, выделения земель, что приведет к существенной задержке сроков реализации проекта, в том числе уже после частичного освоения средств;

2) Риск снижения деловой активности. Кризисные явления в экономике, развитие режима эмбарго могут привести к резкому снижению контейнерных грузоперевозок;

3) Инфляционный риск. Существенный рост инфляции может увеличить затраты на реализацию проекта;

4) Риск отсутствия необходимых технологий для производства. Российские производители могут не обладать достаточными технологическими и производственными ресурсами, в результате чего возникнет необходимость поиска зарубежных аналогов, что, в свою очередь, повлияет на срок и стоимость проекта;

5) Риск отсутствия необходимой квалификации персонала. В связи с отсутствием в РФ практики использования магнитолевитационных технологий, возможно потребуются дополнительные затраты на подготовку персонала.

Нивелирование рисков, определение финансовой модели, формирование заинтересованных сторон ведут к необходимости

разработки и оптимизации сетевого графика выполнения работ по созданию магнитолевитационной магистрали.

Выводы

Реализация контейнерных грузоперевозок магнитолевитационным транспортом позволит удовлетворить растущий спрос на грузовые перевозки, сократить время доставки грузов в пути следования. Создание нового вида транспорта подразумевает использование самых современных технологий и средств их обеспечения. Таким образом это создаст импульс для развития инновационных технологий в отраслях экономики Российской Федерации, предприятия которых будут задействованы в обслуживании подвижного состава, оборудования для инфраструктуры магнитолевитационного пути. Также реализация проекта позволит повысить эффективность транспортной системы, снизить совокупные затраты и создать базу для дальнейшего развития аналогичных проектов на территории России и за рубежом.

Рост объемов и скорости перевозок позволит решить задачу, поставленную в Транспортной стратегии РФ, по снижению транспортной составляющей в себестоимости конечной продукции [15]. Благодаря внедрению инновационных технологий существенно возрастет эффективность транспортировки грузов между портами и терминалами.

Также, реализация проекта позволит выполнить задачи, поставленные в Приказе «Об утверждении Концепции инновационного развития транспортного комплекса Ленинградской области на 2012-2020 годы», в частности [10]:

1) Развитие современной и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение товародвижения и снижение транспортных издержек в экономике региона и формирование единого транспортного пространства региона;

2) Повышение конкурентоспособности транспортной системы области и реализация ее транзитного потенциала;

3) Повышение комплексной безопасности и устойчивости транспортной системы Ленинградской области;

4) Снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду, и др.

Библиографический список

1. Александрова В. Ф. Технология и организация реконструкции зданий / В. Ф. Александрова, Ю. И. Пастухов, Т. А. Расина: Учебное пособие / СПбГАСУ. – Санкт-Петербург, 2011. – 208 с.

2. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.

3. Астафьева В. Л. Магнитолевитационная транспортная технология как объект международного технологического трансфера в российскую практику // Сборник материалов международной научно-практической конференции № IX «Современные проблемы и тенденции развития экономики и управления в XXI веке». – Липецк, 2015. – С. 5-17.

4. Горшенин Д. Грузооборот портов Петербурга и Ленинградской области держится в плюсе / Сайт газеты «Ведомости». – URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/05/31/642985-gruzooborot-portov-peterburga> (дата обращения 16.11.2016).

5. Зайцев А. А. Контейнерный мост Санкт-Петербург - Москва на основе магнитной левитации // Транспорт РФ. – 2014. – № 1 (50). – С. 8-11.

6. Зайцев А. А. Левитирующий транспорт может заменить даже метро / Сетевое издание «РИА Новости». – URL: <https://ria.ru/interview/20160725/1472643108.html> (дата обращения 16.11.2016).

7. Зайцев А. А. Магнитная левитация уже не фантастика // Гудок. – 2015. – № 83 (25752). – С. 5.

8. Зайцев А. А. RusMaglev – это больше, чем научные идеи / Беседовал Александр Солнцев // Информационное агентство РЖД Партнер. – URL: http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/rusmaglev---ieto-bolshe--chem-nauchnye-idei/?sphrase_id=860 (дата обращения 16.11.2016).

9. Куркин К. На Балтике обостряется конкуренция / Сайт журнала «Эксперт Северо-Запад». – URL: <http://expert.ru/northwest/2016/06/baltijskij-tyanitolkaj/> (дата обращения 16.11.2016).

10. Приказ Правительства Ленинградской области от 14.09.2011г. № 01-07/11 «Об утверждении Концепции инновационного развития транспортного комплекса Ленинградской области на 2012-2020 годы»

11. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.01.2016г. №5-р «Сетевой план-график мероприятий реализации проекта строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва-Казань».

12. Соколова Я. В. Риски реализации инновационного проекта создания транспортно-логистической системы с применением магнитолевитационной технологии // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2016. – № 1 (3). – С. 154-164. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html> (дата обращения 16.11.2016).

13. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р.

14. Строев И. Временные трудности: тенденции рынка контейнерных перевозок / Сайт журнала «Морской бизнес». – URL: <http://mbsz.ru/?p=22834> (дата обращения 16.11.2016).

15. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р. – URL: <http://rosavtodor.ru/storage/b/2014/03/23/strategia.pdf> (дата обращения 16.11.2016).

References

1. Aleksandrova V. F., Pastukhov Y. I. & Rasina T. A. Tekhnologiya i organizaciya rekonstrukcii zdaniy [Tutorial "Technology and organization of building renovation"]. St. Petersburg, 2011. 208 p.

2. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic levitation transport technology]. Moscow, 2014. 476 p.

3. Astafeva V. L. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya kak obekt mezhdunarodnogo tekhnologicheskogo transfera v rossijskuyu praktiku. [Magnitolevitatsionnaya transport technology as an object of international technology transfer in the Russian practice]. *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno prakticheskoy konferencii No. IX "Sovremennye problemy i tendencii razvitiya ehkonomiki i upravleniya v XXI veke"* (Collected materials of the Int. scientific-practical conference No. IX «Modern problems and tendencies of development in the XXI century of Economics and Management»). Lipeck, 2015, pp. 5–17.

4. Sajt gazety "Vedomosti" [The site of the newspaper "Vedomosti"]. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/05/31/642985-gruzooborot-portov-peterburga>.

5. Zaytsev A. A. *Transport RF – Transport of the Russian Federation*, 2014, no. 1 (50), pp. 8–11.

6. Setevoe izdanie "RIA Novosti" [Network edition of "RIA Novosti"]. URL: <https://ria.ru/interview/20160725/1472643108.html>.

7. Zaytsev A. A. *Gudok - Gudok*, 2015, no. 80 (25752). p. 5.

8. Informacionnoe agentstvo "RZHD Partner" [News agency "RZD-Partner"]. URL: http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/rusmaglev---ieto-bolshe--chem-nauchnye-idei/?sphrase_id=860.

9. Sajt zhurnala "Ekspert Severo-Zapad" [Site of the magazine "Expert North-West"]. URL: <http://expert.ru/northwest/2016/06/baltijskij-tyanitolkaj/>.

10. Prikaz Pravitelstva Leningradskoj oblasti ot 14/09/2011 no.01-07/11 "Ob utverzhenii Konceptii innovacionnogo razvitiya transportnogo kompleksa Leningradskoj oblasti na 2012-2020 gody" [Order of the Leningrad Region Government from 14/09/2011 no. 01-07/11 "On approval of the Leningrad Region in 2012-2020 transport complex innovative development concept"].

11. Rasporyazhenie Pravitelstva Rossijskoj Federacii ot 13/01/2016 no. 5-r "Setevoj plan-grafik meropriyatij realizacii proekta stroitelstva vysokoskorostnoj zheleznodorozhnoj magistrali Moskva-Kazan" [The order of the Russian Federation from 13/01.2016g. №5-p "Network schedule of activities of the project of building a high-speed railway line Moscow-Kazan"].

12. Sokolova J. V. *Transportnye sistemy i Tekhnologii - Transport Systems and Technologies*, 2016, no. 1 (3), pp. 154–164. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html>.

13. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v RF do 2030 goda. Utverzhdena Rasporyazheniem Pravitelstva RF ot 17/06/2008 g. no.877-r. [Strategy of development of railway transport in the Russian Federation until 2030. Approved by Decree of the Russian Government dated 17.06.2008 no. 877-p].

14. Sajt zhurnala "Morskoj biznes" [Website of the journal "Marine Business"]. URL: <http://mbsz.ru/?p=22834>.

15. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Transport Strategy of the Russian Federation for the period till 2030]. URL: <http://rosavtodor.ru/storage/b/2014/03/23/strategia.pdf>.

Сведения об авторе:

АКСЕНОВ Никита Андреевич, магистрант Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I
E-mail: aksenov1993@mail.ru

Information about author:

Nikita A. AKSENOV, master student of Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
E-mail: aksenov1993@mail.ru

Раздел 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 625.541

Г. Н. Талашкин

Союз строителей железных дорог

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ МАГЛЕВ-ДОРОГ

Дата поступления 07.09.2016

Решение о публикации 30.11.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Статья посвящена вопросам проектирования и строительства искусственных сооружений.

Введение: Представлен краткий анализ зарубежного опыта проектирования и строительства мостов и эстакад для дорог с использованием магнитолевитационной технологии (маглев-дорог). Рассмотрены основные параметры и конструктивно-технологические решения пролетных строений различных сечений и опор.

Анализ: Исходя из зарубежного опыта, рассмотрено применение различных материалов, возможных для использования при строительстве маглев-дорог, такие как железобетон и сталь, а также композитные материалы. Проанализирована работа пролетных строений различной длины и системы. Дана оценка искусственных сооружений неразрезной системы, которая позволяет уменьшить их материалоемкость за счет более выгодного распределения усилий, возникающих в балках.

Результаты: Описаны возможные способы строительства магнитолевитационных дорог, такие как применение подмостей, перемещающихся из пролета в пролет по мере бетонирования секций, а также метод циклической продольной надвигки, который сочетает в себе последовательное изготовление секций неразрезного пролетного строения на стапеле и продольную передвигку собранной плети из нескольких секций по оси моста.

Выводы: Сформулирована основная технологическая проблема, связанная со строительством искусственных сооружений.

Ключевые слова: Проектирование дорог с магнитным подвесом, искусственные сооружения, конструкции пролетных строений и опор, технология строительства.

Gennadiy N. Talashkin

Union of Builders of the Railroads

FEATURES DESIGN AND CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL
STRUCTURES FOR MAGLEV - ROADS

Abstract: The article is devoted to the design and construction of artificial structures.

Introduction: A brief analysis of foreign experience in the design and construction of bridges and overpasses for roads with magnetic levitation technology (maglev-roads). The basic parameters and design and technology solutions span structures of various sections and pillars.

Analysis: Based on international experience, discussed the use of different materials for possible use in the construction of roads, maglev, such as concrete and steel, as well as composite materials. The operation of superstructures of various lengths and systems. The estimation of man-made structures of a continuous system, which can reduce their material consumption due to a more favorable distribution of forces arising in the beams.

Results: The possible construction methods magnetic levitation roads, such as the use of scaffolding, moving from a flight to flight as the concreting sections, as well as the method of cyclical longitudinal sliding, which combines the serial production of sections of continuous superstructure on the stocks and longitudinal shifting collected whip of several sections on axis of the bridge.

Conclusions: Formulated the main technical problem related to the construction of artificial structures.

Keywords: Road Design with magnetic levitation, artificial structures, superstructure and supports the construction of technology.

Введение

Создание трассы под магнитолевитационный транспорт [1, 2], для пассажирских или грузовых перевозок – серьезная многофакторная задача, возможность реализации и цена которой определяется на этапе проектирования. Причем, такой проект применительно к грузовым перевозкам во многом имеет «пилотный», инновационный характер.

1 июня 2015 г. состоялось важное событие на пути создания грузового Маглева в России. На территории моторовагонного депо СПб Балтийский (ТЧ-15) был смонтирован стенд для проведения натурального эксперимента. Специалисты и гости смогли своими глазами увидеть и оценить возможности перевозки морских контейнеров с использованием магнитолевитационной технологии. Эксперимент полностью подтвердил достоверность теоретических разработок в области магнитной левитации.

В сборниках статей 2-й и 3-й Международных научных конференций «Магнитолевитационные транспортные системы и технологии» и других источниках, посвященных этой тематике достаточно подробно были рассмотрены общие вопросы проектирования и строительства дорог с использованием магнитной левитации [3, 4, 5]. Данная статья является более детальным рассмотрением одного из важных элементов инфраструктуры магнитолевитационного транспорта – искусственных сооружений.

Но, очевидно, магнитная часть не может эксплуатироваться сама по себе, она должна опираться на так называемую «путевую структуру»

(подобную «верхнему строению пути» на обычных железных дорогах), которая, в свою очередь, тоже должна на «что-то» опираться: земляное полотно или искусственные сооружения. И этим «что-то» мы уже серьезно занимаемся. Естественно, начав с изучения мирового и отечественного опыта.

Определение возможных скоростных режимов и степени разрежения

Сравнительный анализ энергозатрат атмосферных систем «колесо-рельс», системы магнитной левитации и систем транспорта в разреженной среде показывает, что последние приобретают экономическую целесообразность только при скорости движения, не достижимой атмосферным транспортом, так как затраты энергии, объемы капитальных вложений, затраты на обслуживание данной системы будут значительно выше, чем в уже существующем традиционном атмосферном транспорте.

На сегодняшний день практическое применение имеет транспорт, движущийся со скоростью до 300 км/ч (железнодорожный) и свыше 900 км/ч (воздушный). Скоростной диапазон от 300 до 900 км/ч остается не освоенным, и является оптимальным для исследуемого вида транспорта.

Анализ данных, полученных при эксплуатации магнитолевитационного транспорта в Германии, Китае и Японии, позволил сделать обзор скоростных режимов движения (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Достижения скоростных режимов магнитолевитационного транспорта [5]

Германия		Китай		Япония	
Год	Достигнутая скорость, км/ч	Год	Достигнутая скорость, км/ч	Год	Достигнутая скорость, км/ч
1973	250	2004	350	1979	517
1974	401	2007	550	1987	400,8
1980	420	2009	394	1997	550
1984	400	-	-	2003	581
1993	450	-	-	2015	603
1999	500	-	-	-	-
2002	430	-	-	-	-
2003	501	-	-	-	-

На основании данных, приведенных в таблице 2.1, можно сделать вывод о том, что для получения явных преимуществ перед существующими видами транспорта исследуемый транспорт должен обладать скоростными характеристиками от 300 до 1 000 км/ч.

Основным фактором, влияющим на скоростной диапазон движения транспортных единиц в исследуемой системе, является аэродинамическое сопротивление, возникающее при движении.

Особенностью разрабатываемой системы является снижение аэродинамического сопротивления при движении транспортной единицы за счет создания на пути следования зоны низкого давления - разрежения.

Зависимость аэродинамической силы торможения от скорости и степени разрежения вычисляется по формуле:

$$F = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2, \quad (2.1)$$

где

C – аэродинамический коэффициент сопротивления;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – фронтальная (лобовая) площадь поперечного сечения, м²;

v – скорость движения, м/с.

Плотность воздуха в зависимости от степени разрежения находится по формуле [8]:

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T} = \frac{353 \cdot P_1}{(273 + t) \cdot P_{\text{бар}}}, \quad (2.2)$$

где

P – давление воздуха;

μ – молярная масса воздуха;

t – температура воздуха;

$P_{\text{бар}}$ – барометрическое давление воздуха.

Для расчетов принят наиболее «неблагоприятный» с точки зрения аэродинамики вариант формы носовой части транспортной единицы – торцевая стенка морского контейнера.

Результаты расчетов аэродинамической силы торможения в зависимости от скорости движения и степени разрежения при температуре воздуха +20 °С приведены на рис. 2.1.

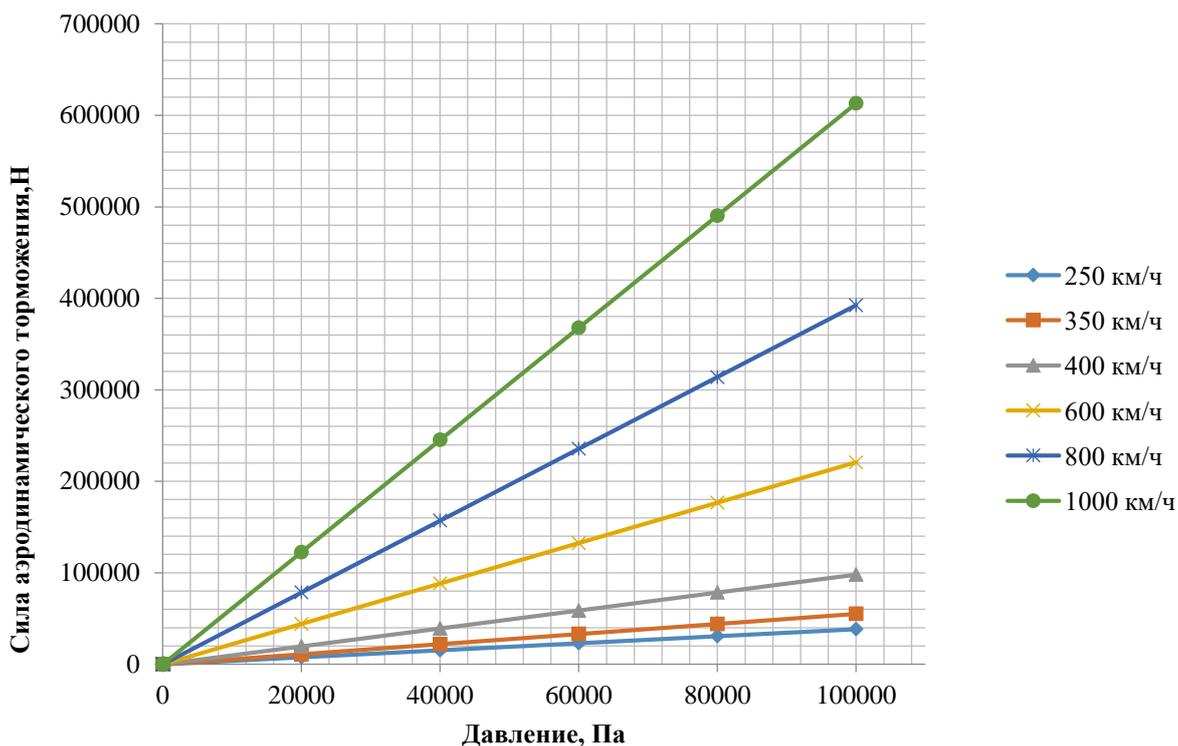


Рис. 2.1. Зависимость силы аэродинамического торможения от степени разрежения

Зависимость аэродинамической силы торможения от скорости движения при различном давлении показано на рис. 2.2.

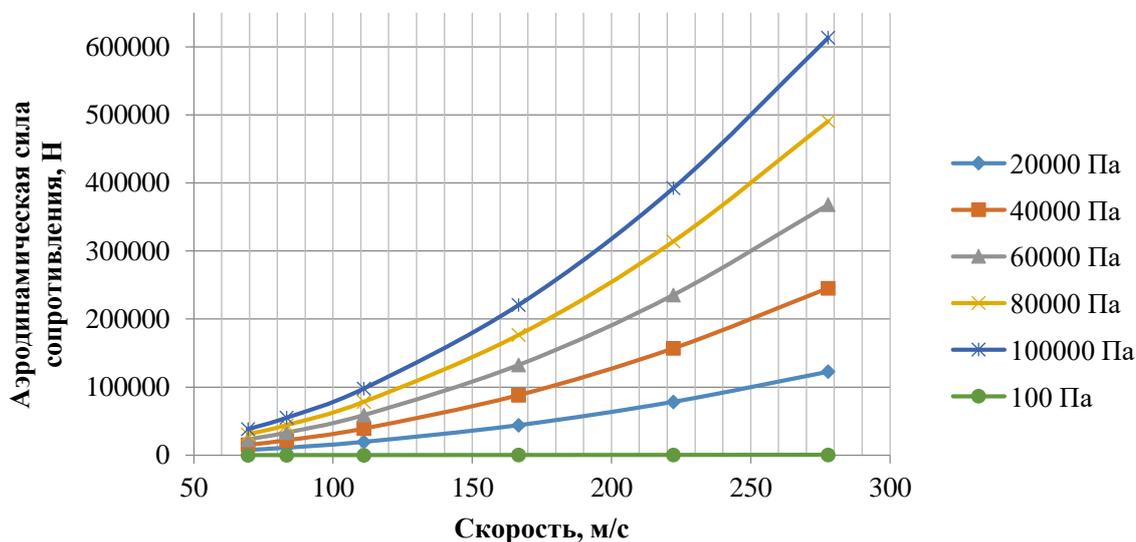


Рис. 2.2. Зависимость силы аэродинамического торможения от скорости движения

Эксплуатация исследуемого вида транспорта предполагается в широком диапазоне климатических условий, что требует проведения анализа влияния температуры воздуха в диапазоне от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ на

силу аэродинамического торможения. Результаты анализа приведены на рис. 2.3 и рис. 2.4.

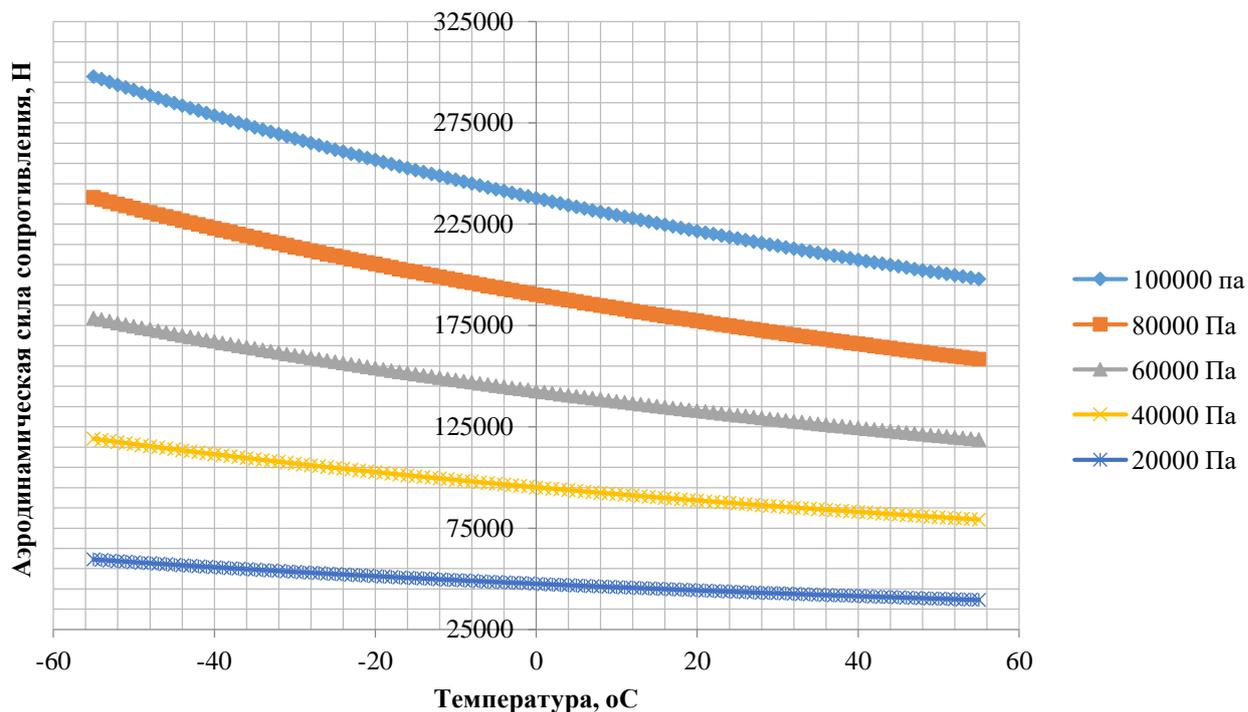


Рис. 2.3. Зависимость силы аэродинамического торможения от температуры среды (при скорости движения 600 км/ч)

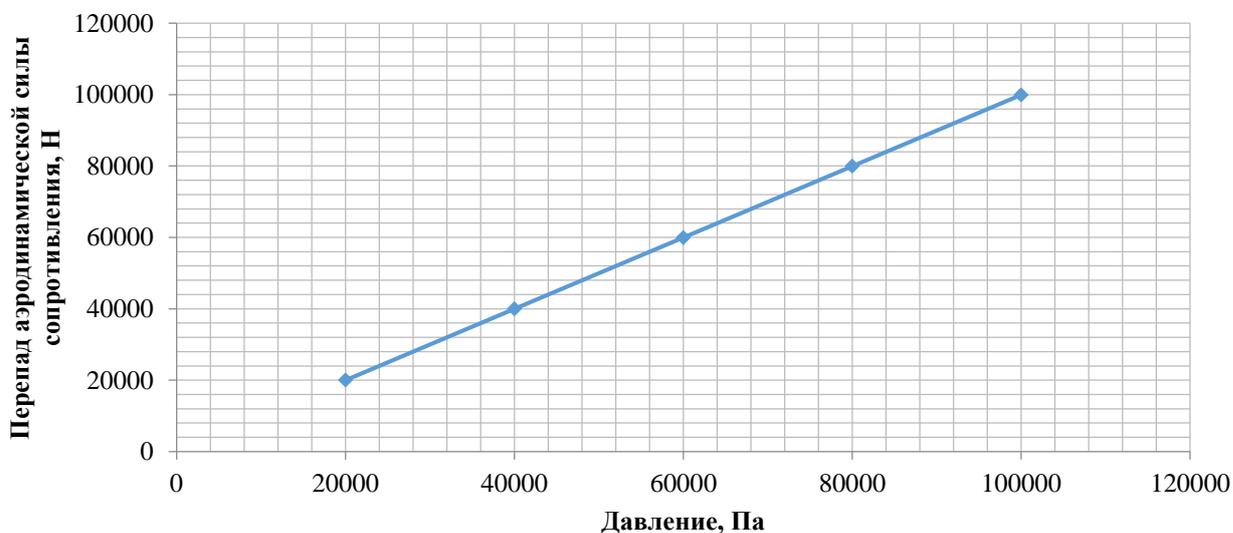


Рис. 2.4. Диапазон изменения силы аэродинамического торможения в температурных пределах от -55 °C до +55 °C в зависимости от давления

В исследуемой транспортной системе применяется три класса оборудования:

- 1) для создания разрежения (высокой производительности);
- 2) для поддержания разрежения (малой / средней производительности);
- 3) для обеспечения работы шлюзовых участков.

Предполагаемая схема установки оборудования приведена на рис. 2.5.

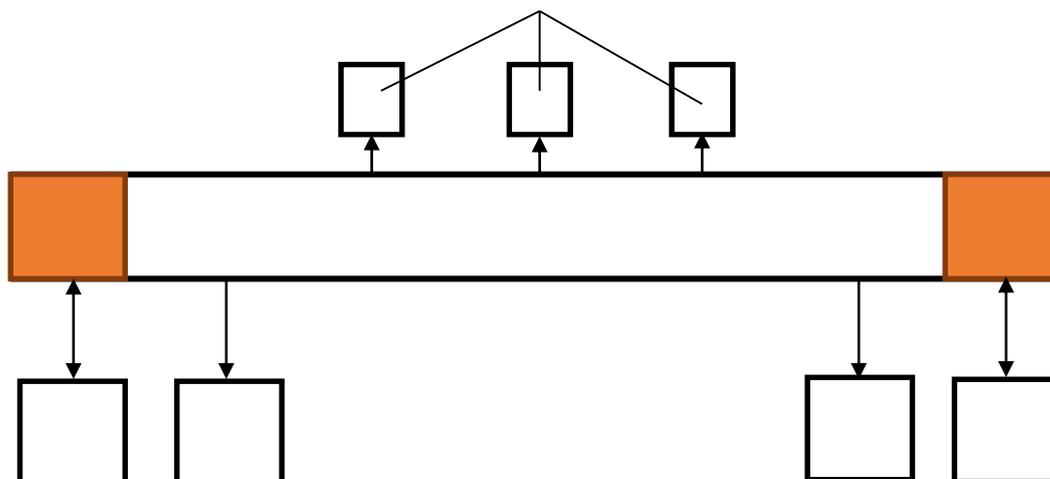


Рис. 2.5. Предполагаемая схема установки оборудования для создания разрежения:
1 – установка создания разрежения; 2 – установка для обеспечения работы шлюзовых камер; 3 – установка для поддержания разрежения

Установки (1) предназначены для создания разрежения в вакуумном трубопроводе. Время работы данных установок зависит от протяженности магистрали, диаметра и производительности вакуумных станций. При эксплуатации в штатном режиме, для поддержания требуемого давления в вакуумном трубопроводе используются установки (3) меньшей производительности, а установки высокой производительности (1) не задействованы. Для обеспечения работы шлюзовых камер используются установки (2). Так как разрабатываемая ТС предполагается в двухтрубном и более исполнении предлагается схема работы шлюзовых камер и вакуумных станций по схеме приведенной на рис. 2.6.

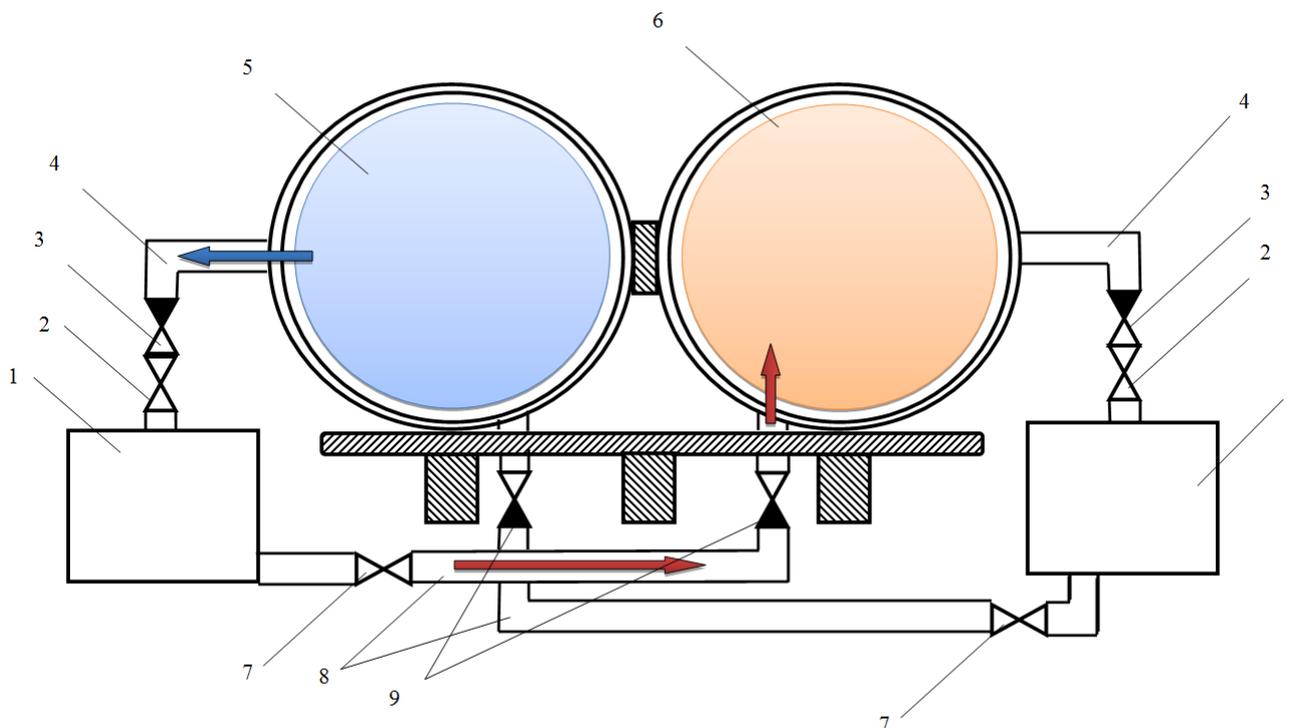


Рис. 2.6 - Принципиальная схема работы шлюзовых камер

1 - вакуумная станция; 2 - регулирующий клапан; 3 - обратный клапан всасывающего трубопровода; 4- всасывающий трубопровод; 5 - зона создаваемого разрежения; 6 - зона создания атмосферного давления; 7 - регулирующий клапан напорного трубопровода; 8 -напорный трубопровод; 9 - обратный клапан напорного трубопровода; 10 - регулируемая предохранительная линия.

Шлюзование прибывшей и отправляемой транспортных единиц осуществляется одновременно. Данная технология позволяет сократить время и затраты энергии на откачку воздуха из первой шлюзовой камеры и заполнение второй. Схема позволяет обеспечивать переключение шлюзовых камер как на откачку воздуха, так и на заполнение. Кроме того, такой способ шлюзования позволяет обеспечить плавность откачки и заполнения шлюзовых камер, что является не маловажным, поскольку резкие перепады давления могут оказать негативное воздействие на всю конструкцию в целом.

Контроль степени разрежения осуществляется с помощью датчиков разрежения, установленных на протяжении всей магистрали.

Откачка воздушной среды осуществляется через патрубки, оборудованные регулируемыми и предохранительными клапанами.

Степень вакуума определяется количеством вещества, оставшимся в системе. Вакуум, в первую очередь, определяется абсолютным давлением, а полная характеристика требует дополнительных параметров, таких как температура и химический состав. Одним из наиболее важных параметров является средняя длина свободного пробега остаточных газов, которая указывает среднее расстояние, которое частица пролетает за время

свободного пробега от одного столкновения до следующего. Свойства разреженного газа сильно изменяются, когда длина свободного пробега становится сравнима с размерами сосуда, в котором находится газ.

Вакуум подразделяется на диапазоны в соответствии с технологией, необходимой для его достижения или измерения. Эти диапазоны не имеют общепризнанных определений; типичное распределение представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Классификация вакуума

	Давление, мм рт. ст.	Давление, Па
Атмосферное давление	760	$1,03 \cdot 10^5$
Низкий вакуум	760...25	$1,03 \cdot 10^5 \dots 10$
Средний вакуум	$25 \dots 10^{-3}$	$10 \dots 10^{-3}$
Высокий вакуум	$10^{-3} \dots 10^{-9}$	$10^{-3} \dots 10^{-6}$
Сверхвысокий вакуум	$10^{-9} \dots 10^{-12}$	$10^{-6} \dots 10^{-10}$
Экстремальный вакуум	$< 10^{-12}$	$< 10^{-10}$
Космическое пространство	$10^{-6} \dots 3 \cdot 10^{-17}$	$10^{-4} \dots 3 \cdot 10^{-15}$
Абсолютный вакуум	0	0

В системе рассматривается применение низкого вакуума. Применение среднего, сверхвысокого и экстремального вакуума нецелесообразно с точки зрения сложности его получения и безопасности всей системы.

На основании произведенных оценочных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. При скорости движения свыше 300 км/ч целесообразно рассматривать движение в среде с давлением от 0,1 до 20 кПа (100 – 20000 Па).

2. При давлении 0,1 кПа (100 Па) среда, в которой движется транспортное средство, практически не влияет на скорость движения.

3. При понижении давления существенно снижается влияние температуры на величину аэродинамической силы сопротивления.

Так как наименьшее влияние аэродинамической силы сопротивления при скорости свыше 300 км/ч достигается при давлении среды менее 5 кПа (5000 Па), данную величину целесообразно рассматривать при проектировании нового вида транспорта.

Габариты

Одним из важных факторов при разработке транспорта, движущегося в разреженной среде, являются габариты транспортного средства. В частности, необходимо рассмотреть соотношение лобовой площади транспортной единицы к площади сечения трубы. Минимальный зазор между транспортной единицей и ограждающей конструкцией

трубопровода должен быть такой величины, которая согласуется с различными режимами эксплуатации транспортной единицы (равномерность, степень загрузки (порожняя и полная), движение транспортной единицы отдельно или в составе). Кроме того, необходим учет возможного загрязнения поверхностей.

В отсутствии аналогов разработок грузовых магнитолевитационных систем, целесообразно рассмотреть вариант создания транспортных единиц, предназначенных для контейнерных перевозок, что обеспечит конкурентоспособность нового вида транспорта по отношению к другим видам. Исходя из габаритов контейнеров и грузовой магнитолевитационной транспортной платформы, диаметр ограждающих конструкций разрабатываемой системы должен составлять не менее 3,7...4,0 м.

Данные параметры являются оптимальными на данном этапе работ, однако могут быть скорректированы на основании результатов, которые будут получены в ходе математического моделирования.

Диаметр и площадь сечения транспортной единицы зависят от компоновки пассажирского салона, компоновки грузового отсека транспортной единицы и расположения элементов систем левитации, стабилизации и линейного двигателя.

Грузоподъемность системы

При проектировании транспортной системы необходимо учитывать:

1) Разницу в массе порожней и загруженной магнитолевитационной транспортной единицы, влияющую на рабочий левитационный зазор между транспортной платформой и активной путевой структурой. При изменении зазора процессы взаимодействия магнитных полей существенно изменяются, резко ухудшая тяговые и левитационные характеристики;

2) Неравномерное распределение центра масс груза по площади магнитолевитационной платформы, вызывающее кренение в продольных и поперечных осях платформы. Вследствие кренения происходит изменение рабочего левитационного зазора, в результате могут возникать не расчетные характеристики взаимодействия магнитных полей, которые могут привести к нештатным ситуациям:

- Взаимное разрушение активной путевой структуры и платформы при контакте;
- Нарушение боковой стабилизации.

3) Изменение рабочего левитационного зазора при резком разгоне и аварийном торможении, приводящее к контакту платформы и активной путевой структуры;

4) Высокую стоимость магнитов или большие затраты энергии, необходимые для обеспечения достаточной жесткости магнитного поля при больших массах груза.

Все вышеперечисленные проблемы имеют приемлемые технические решения применительно к пассажирскому магнитолевитационному транспорту:

1) Масса состава с пассажирами и без не критична, разница не способна повлиять на процессы левитации и стабилизации;

2) Ускорения разгона и торможения в пассажирском составе жестко лимитированы, в связи с чем не возникает критических значений кренов;

3) Распределение массы в пассажирском составе равномерно;

4) Вагоны пассажирского магнитолевитационного транспорта изготавливаются из материалов, имеющих низкий удельный вес, так как нагрузка на конструкцию пассажирского состава мала.

На основании результатов проведенных исследований получена зависимость (рис. 2.7.) величины зазора левитации l от вертикального усилия P , создаваемого с помощью гидравлического прессы, моделирующего различные массы грузов.

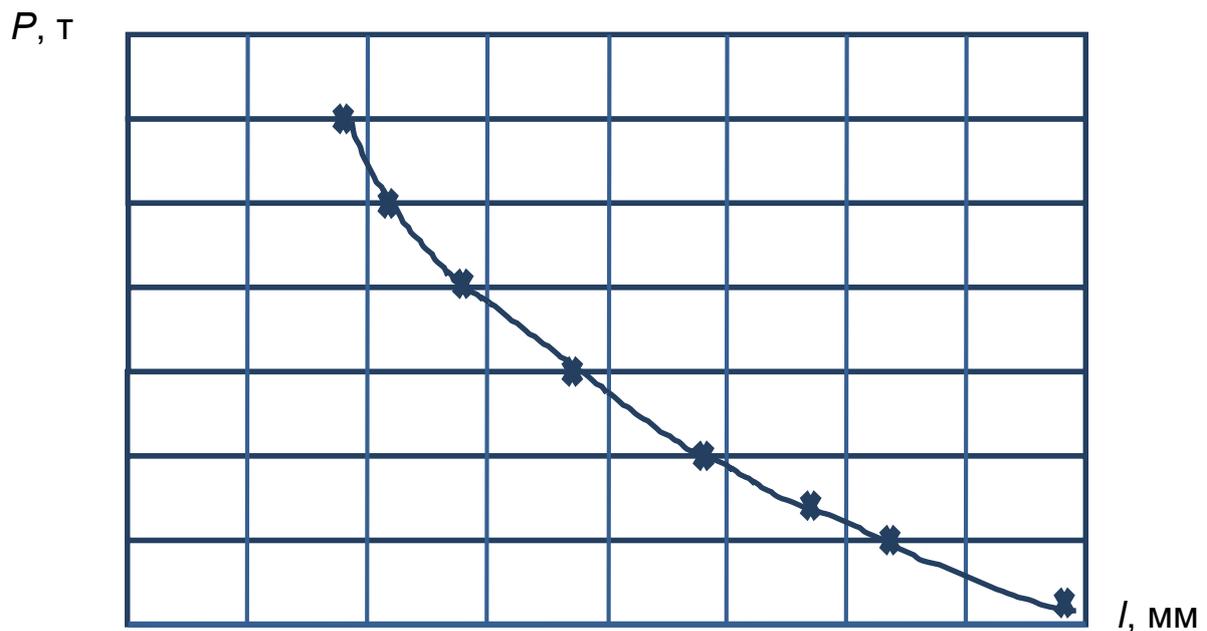


Рис. 2.7. График зависимости подъемной силы левитации P от левитационного зазора l магнитного модуля

Из графика видно, что величина левитационного зазора магнитных модулей зависит от массы, которая будет воздействовать на магниты в реальных условиях.

В ходе испытаний экспериментального полномасштабного макета грузовой магнитолевитационной транспортной платформы (Приложение Б) была продемонстрирована практическая осуществимость основных систем – левитации и линейной тяги. При нагрузке 28 т левитационный зазор составляет 15–20 мм при нулевой скорости и при перемещении на расстояние 60 см (рис. 2.8). Полученные параметры согласуются со значениями, которые установлены экспериментально при испытании на нагрузку четырех штатных магнитных модулей левитации.



Рис. 2.8. Полномасштабный макет грузовой магнитолевитационной транспортной платформы с 40-футовым морским контейнером серии ISO 1AAA

Оценка энергозатрат системы

Энергозатраты разрабатываемой транспортной системы можно разделить на несколько основных направлений:

- Затраты энергии на системы обеспечения разряжения;
- Затраты энергии на обеспечение движения и левитации транспортной единицы;
- Затраты энергии на обеспечение работы системы управления (системы автоматизации и диспетчеризации).

К основным затратам электроэнергии в разрабатываемой системе можно отнести затраты на системы создания и поддержание разряжения. При скорости свыше 300 км/ч аэродинамическое сопротивление достигает критических значений, тогда продольный профиль пути можно не принимать во внимание в расчетах энергетических затрат транспортной системы.

Принимая во внимание результаты анализа скоростных режимов и степени разрежения в разрабатываемой системе, создаваемое

разряжение должно лежать в пределах <5 кПа (50 мбар). В соответствии с таблицей, приведенной в Приложении А, установки, способные обеспечить данные параметры, имеют различную производительность. Затраты электроэнергии на создание разрежения в данном случае так же существенно зависят от производительности.

График производительности установок и мощности приведен на рисунке 2.10.

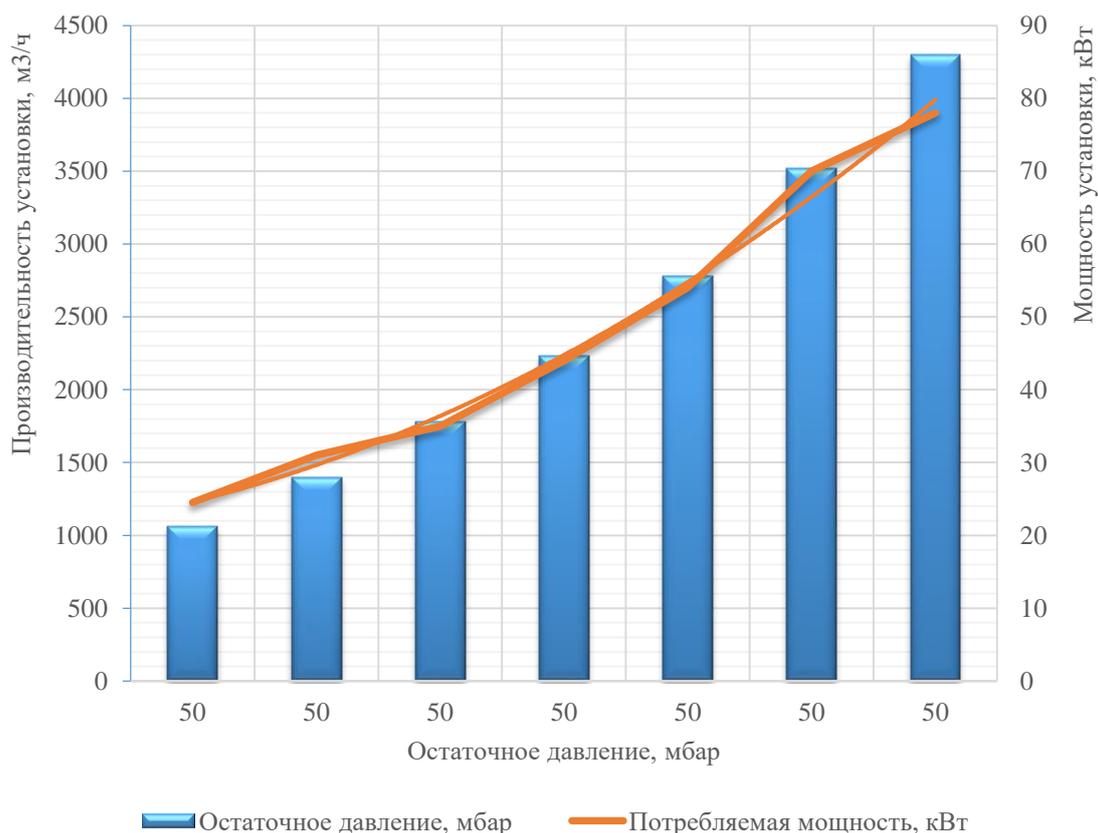


Рис. 2.10. Изменение производительности установки с учетом габаритов системы, приведенных в п. 2.3, определено изменение затрат электроэнергии в зависимости от времени откачки на 1 км разрабатываемой системы (табл. 2.3).

Таблица 2.3.

Производительность установки, м ³ /ч	Время создания разрежения, ч	Предполагаемые затраты электроэнергии, кВт·ч
50 мбар		
1060	12	290
1400	9	278
1780	7	247
2230	6	248
2780	5	244
3520	4	250
4300	3	228
25 мбар		
930	14	331
1250	10	311
1620	8	264
2060	6	262
2540	5	262
3250	4	263
3980	3	243

Количество запусков системы создания разрежения предусматривается 2 раза в год после проведения регламентных работ по окончанию зимнего и летнего периодов. Проведение регламентных работ предусматривает повышение давления в системе до атмосферного и осмотр технического состояния системы в целом.

Описание оборудования, предлагаемого к установке, приведено в Приложении В отчета.

При анализе принимались следующие исходные данные:

- рассматриваемая протяженность участка магистрали – 1000 км;
- скорость движения – 250 км/ч;
- рассматриваемый временной промежуток эксплуатации – 1 год;
- схема движения – в одном направлении (один вакуумный трубопровод).

Результаты сравнительного анализа показаны в табл. 2.4 и на рис. 2.11.

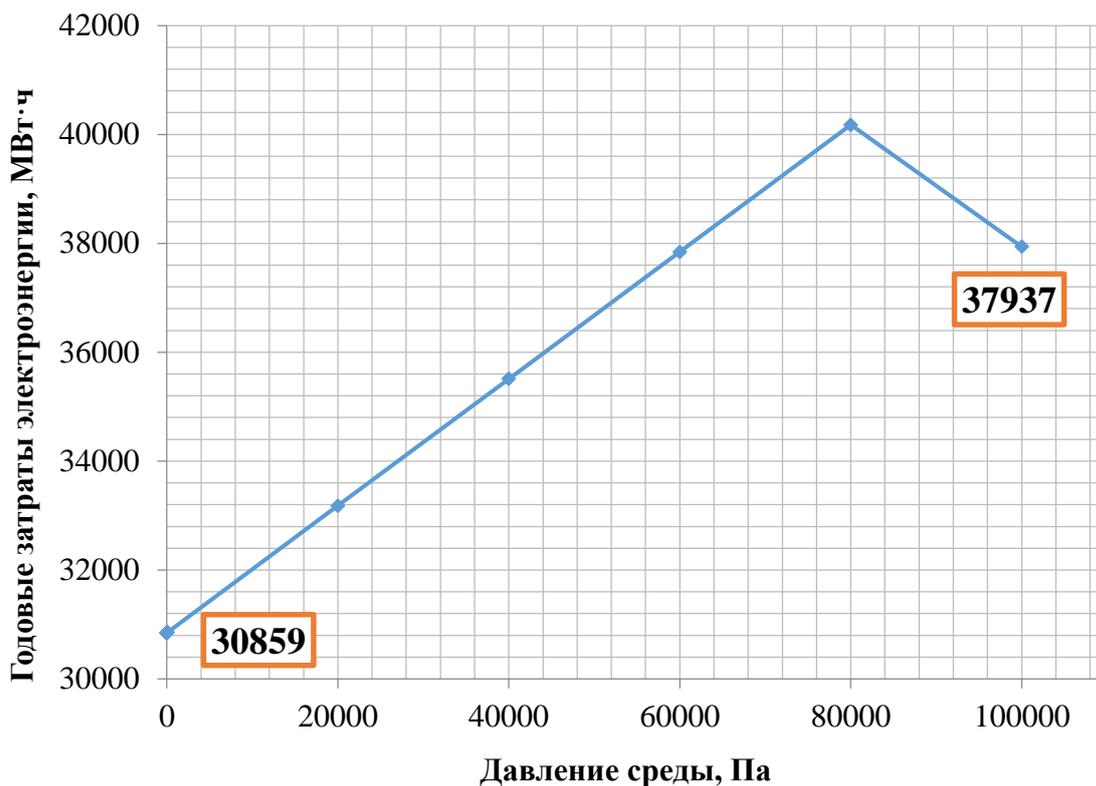


Рис. 2.11. Годовые затраты электроэнергии на обеспечение движения, создания и поддержания разрежения в зависимости от давления среды

Таблица 2.4. Результаты сравнительного анализа затрат электроэнергии

№ п/п	Параметр	Ед. изм	Величина	
1	Давление	Па	100000	<5000
2	Скорость движения	км/ч	250	250
3	Аэродинамическая сила торможения	Н	38326	38
4	Мощность на преодоление аэродинамического сопротивления	кВт	1331	1,3
5	Мощность необходимая для движения транспортной единицы	кВт	3000	3000
6	Суммарная мощность транспортной единицы	кВт	4331	3001
7	Длина магистрального участка	м	1000000	1000000
8	Длина участков шлюзования	м	-	4000
9	Диаметр вакуумного трубопровода	м	-	4
10	Объем магистрального участка	м ³	-	12560000
11	Объем участков шлюзования	м ³	-	50240
12	Предполагаемые притоки воздуха на магистральном	%	-	0,1
		м ³	-	12560

№ п/п	Параметр	Ед. изм	Величина	
	участке из-за возможных неплотностей конструкции и газопроницаемости материалов			
13	Мощность установок для создания разрежения	кВт	-	78
14	Мощность установок для поддержания разрежения	кВт	-	24,50
15	Мощность установок для шлюзовых камер	кВт	-	78
16	Производительность установок для создания разрежения	м ³ /ч	-	4500
17	Производительность установок для поддержания разрежения	м ³ /ч	-	1060
18	Производительность установок для шлюзовых камер	м ³ /ч	-	4500
19	Количество установок для создания разрежения	шт.	-	20
20	Количество установок для поддержания разрежения	шт.	-	12
21	Количество установок для шлюзовых камер	шт.	-	2
22	Время откачки воздуха	ч	-	140
23	Время откачки воздуха из шлюзовых камер	ч	-	1
24	Рассматриваемый период эксплуатации	год	1	1
		час	8760	8760
26	Количество предполагаемых запусков установок для создания разрежения	шт./год	-	2
27	Количество запусков шлюзовых камер / время их работы	раз/сут.	-	20
		раз/год	-	7300
		час	-	10187,56
28	Предполагаемое количество перемещаемых транспортных единиц	шт./сут.	20	20
		шт./год	7300	7300
29	Суммарные годовые затраты электроэнергии, в том числе:	МВт·ч	37937	30859
29.1	На движение	МВт·ч	37937	26292
29.2	На создание разрежения	МВт·ч	-	435
29.3	На поддержание разрежения	МВт·ч	-	2543
29.4	На шлюзовые камеры	МВт·ч	-	1589

Анализ

Накопленный мировой опыт создания трасс, Маглев ограничивается в основном пассажирскими перевозками. Экспериментальный участок «General Atomics», построенный в 1995 г. для перевозки морских контейнеров в Лос-Анджелесе (США), представляет интерес больше для конструкторов подвижного состава, нежели для проектировщиков и строителей инфраструктуры (длина участка 1,5 м невелика и не потребовала устройства протяженных эстакад).

Из многолетнего опыта компании Transrapid, построившей тестовый трек в Эмсланде (Германия) и уже 12 лет эксплуатирующей коммерческую пассажирскую линию Шанхай – аэропорт Пудонг (КНР), известно, что строительство инфраструктуры является самой дорогой частью проекта и может составлять до 60-80 % от общих затрат. Поэтому принятие верных проектных и, прежде всего, конструктивных, решений является основополагающим фактором в обеспечении экономического успеха проекта.

Самыми распространенными и дорогостоящими инфраструктурными объектами линий Маглев являются искусственные сооружения в виде эстакад и путепроводов, реже – мостов и виадуков. Их конструктивно-технологические решения отличаются большим разнообразием, определяемым особенностями использования той или иной конструкции, технологии возведения, местными условиями и технико-экономическими показателями.

Ключевыми моментами в принятии конструктивно-технологических решений являются выбор наиболее эффективного материала для пролетных строений, а также определение оптимальной величины перекрываемых пролетов.

Изучение опыта компании Transrapid, показало, что в своей практике она использует различные материалы и типы пролетных строений. Самым эффективным материалом признан железобетон с предварительным натяжением арматурных канатов. Стальные и комбинированные (сталь и железобетон) пролетные строения, как и следовало ожидать, оказались более трудоёмкими при изготовлении и менее экономичными. Их применение оправдано только при необходимости перекрытия пролетов более 40 м на мостах через широкие и глубокие водотоки и на путепроводах в местах пересечений с автомобильными и железными дорогами.

Пролетные строения из композитных материалов пока не рассматривались. В то же время мы узнаем из СМИ, что японские компании Toho Tenax и Kawasaki Heavy Industries работают с 2013 г. над созданием листовых рессор вагонных тележек из композиционного материала, на основе специализированного углеродного волокна и

пластика, причем собираются запустить их в серийное производство [6, 7]. А характер напряженно-деформированного состояния рессор ничем не «лучше», чем, к примеру, у пролетных строений мостов. То есть зарубежный опыт подсказывает нам, что возможности композитов настолько велики, что надо смелее их изучать и внедрять.

Длина перекрываемых пролетов в большинстве случаев составляет 23-25 м, что обусловлено достижением минимальной стоимости сооружения одного километра эстакады. При таких пролетах очевидно преимущество балочных пролетных строений, особенно неразрезной системы, которая позволяет уменьшить их материалоёмкость (в конечном итоге – стоимость) за счет более выгодного распределения усилий, возникающих в балках. При увеличении длины пролетов свыше 25 м стоимость эстакады начинает нелинейно возрастать, даже несмотря на некоторое сокращение количества устраиваемых опор.

Несколько удивляет, почему компания Transrapid остановилась на двухпролетных неразрезных пролетных строениях. В нашем понимании, это не обеспечивает в полной мере высокую эффективность расхода материала. Трех- или даже четырехпролетные балки более эффективны по сравнению с двухпролетными.

Форма поперечного сечения балок пролетных строений во многом зависит от перекрываемого пролета и может быть Т- или П-образной, либо коробчатого типа. Для пролетов длиной до 23 м возможно применение плитных пролетных строений, в том числе с продольными или поперечными пустотами для уменьшения собственного веса. При пролетах 16-27 м – ребристых и плитно-ребристых пролетных строений. Коробчатое сечение целесообразно применять для пролетов 33-55 м.

Немаловажный вопрос – пролетные строения принимать однопутными (как на линии Шанхай – аэропорт Пудонг) или двухпутными? В отечественной практике проектирования эстакад под железную дорогу предпочтение чаще всего отдается двухпутному варианту, как более экономичному с учетом стоимости строительства опор.

Результаты

При разработке конструктивных решений железобетонных пролетных строений должны учитываться особенности технологии их изготовления (в монолитном варианте, с бетонированием на месте, или в сборном варианте, с изготовлением на специализированном заводе железобетонных конструкций, с последующей транспортировкой на объект и монтажом в пролете) [8, 9]. Для сооружения монолитных балочных железобетонных пролетных строений целесообразно

применение подмостей, перемещающихся из пролета в пролет по мере бетонирования секций [10].

В практике отечественного мостостроения хорошо освоен метод циклической продольной надвигки пролетных строений [11]. Этот метод сочетает в себе последовательное изготовление секций неразрезного пролетного строения на стапеле (в одном из начальных пролетов) и продольную передвижку собранной плети из нескольких секций по оси моста.

Достоинство указанных методов заключается в возможности сооружения эстакады последовательным методом «с головы» (то есть из одной исходной точки и в одном направлении), который позволяет избежать значительного занятия земельных участков, прилегающих к трассе, характерного для использования другого метода работы – «на широком фронте» (на нескольких участках-«захватках», в одном или в разных направлениях). Хотя, очевидно, когда будет иметься возможность организации работы именно «на широком фронте», одновременно на нескольких участках, то его применение позволит сократить сроки строительства.

Для опор мостов, эстакад и других ИССО применяется в основном железобетон. Конфигурация опор может быть любой, в зависимости от высоты и длины пролета [9, 12]. Многообразие конструктивных форм опор для строительства эстакад под высокоскоростное и, в том числе, магнитолевитационное движение, показано в табл. 3.

Таблица 3.

Конструктивный элемент	Т и п	
Фундаменты (или опора в целом)	На естественном основании	
	Свайные (на забивных, буронабивных сваях и сваях-столбах)	С ростверком Безростверковые
Надфундаментная часть («тело» опор)	Массивные (сборные, монолитные, сборно-монолитные)	
	Облегченные (стоечные, рамные, пустотелые)	
	Комбинированные (нижняя часть – массивная, верхняя – облегченная)	

Наиболее надежными и распространенными являются свайные фундаменты. В тех случаях, когда погружение свай связано с какими-либо трудностями и грунты основания имеют высокую прочность (например,

скальные или полускальные грунты), применяются фундаменты на естественном основании. Их иногда называют «с поверхностным опиранием».

Технология сооружения опор, имеющих свайные фундаменты, как правило, включает погружение или изготовление свай, отрывку котлована, устройство свайного ростверка под защитой ограждения или без него, а также сооружение надфундаментной части («тела») опор в сборном, сборно-монолитном или монолитном исполнении.

В последние десятилетия широкое распространение в России и за рубежом получили безростверковые опоры. Отличие этих опор от традиционных состоит в отсутствии свайного ростверка, устраиваемого ниже уровня дневной поверхности земли или уровня водотока. Конструкции такой опоры состоит из одного-двух рядов вертикальных или наклонных свай, верхние концы которых объединены железобетонной насадкой с подферменными площадками для опирания пролетных строений. Отсутствие дорогих и трудоемких котлованных работ по устройству свайного ростверка позволяет существенно снизить стоимость сооружения опоры по сравнению с традиционными конструкциями.

Выводы

В целом этапы проектирования и технологии строительства опор и монтажа пролетных строений в России в той или иной степени отработаны [8, 13]. Но есть одно «но». Практически все они связаны с использованием импортного оборудования. Отечественные аналоги по отдельным позициям есть, но в целом они пока мало известны. И это обстоятельство может самым негативным образом повлиять на стоимость искусственных сооружений и, в конечном итоге, всей инфраструктуры линий Маглев.

Чтобы добиваться высокой экономической эффективности строительства линий Маглев, надо уже сегодня думать о создании отечественного комплекса мостостроительной техники, который должен включать [14, 15]:

- Оборудование для погружения свай, бурения скважин и изготовления буронабивных свай (рис. 1);
- Различные краны, в том числе консольно-шлюзовые (рис. 2);
- Устройства передвижных подмостей для бетонирования пролетных строений (рис. 3) и т. п.

Надо полагать, создатели будущего российского грузового Маглева хорошо понимают особенности проектирования и строительства искусственных сооружений, как основного элемента инфраструктуры, и приложат максимум усилий для решения всех возникающих вопросов.

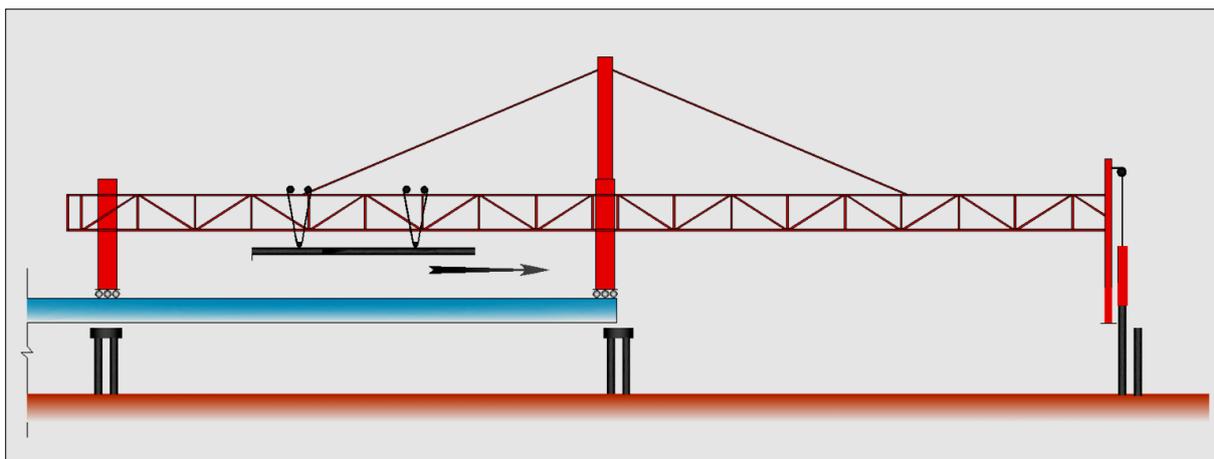


Рис. 1. Строительство эстакады способом «с головы».
Сооружение опор

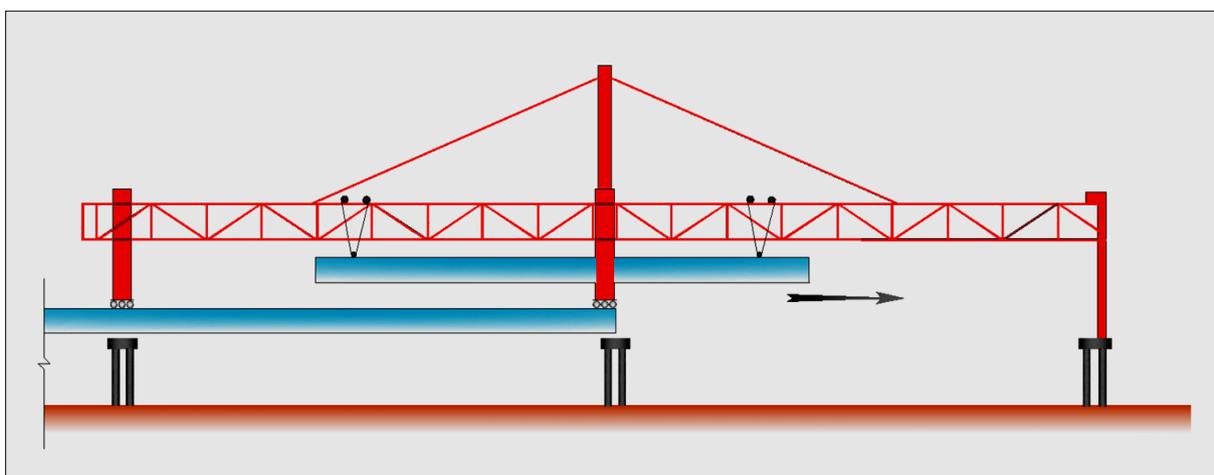


Рис. 2. Строительство эстакады способом «с головы».
Монтаж пролетного строения из сборного железобетона

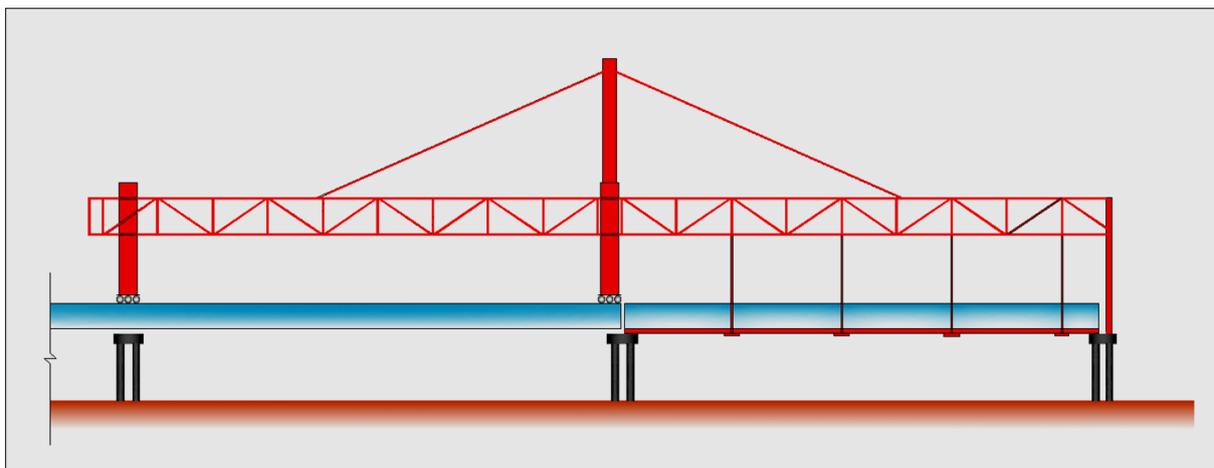


Рис. 3. Строительство эстакады способом «с головы».
Бетонирование пролетного строения из монолитного железобетона

Библиографический список

1. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2015. – № 2(2). – С. 5-15. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html> (дата обращения 16.11.2016).

2. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.

3. Талашкин Г. Н. Проектирование, строительство и эксплуатация дорог с использованием магнитной левитации. С чего начинать? / Г. Н. Талашкин, В. Е. Красковский, В. Н. Смирнов, И. О. Потапова // Транспортные системы и технологии. – СПб.: ПГУПС, 2016. – № 1(3). – С. 112-125. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html> (дата обращения 16.11.2016).

4. Красковский В. Е. Общие вопросы проектирования искусственных сооружений на дорогах с использованием магнитолевитационной технологии // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 2-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 17–20 июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 72-78. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 16.11.2016).

5. Зайцев А. А. Особенности магнитолевитационной технологии, применяемой на общественном транспорте / А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов // Известия петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2012. – №3. – С. 11-18.

6. Компании TohoTenaxc и KawasakiHeavyIndustries организуют серийное производство углепластиковых рессор для тележек железнодорожных вагонов / Пресс-релиз ООО «ТЕЙДЖИН РУС». – URL: <http://www.teijin-russia.ru/page/news/0107> (дата обращения 16.11.2016).

7. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1. Отечественные эксперименты при статическом нагружении // Интернет-журнал «Наукоедение» – 2016. – № 3. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf> (дата обращения 16.11.2016).

8. Смирнов В. Н. Современные технологии мостостроения // Инновации на железнодорожном транспорте: труды юбилейной науч. техн. конф., Санкт-Петербург, 28–29 сентября, 2009. – СПб.: ПГУПС, 2009. – С. 47-54.

9. Смирнов В. Н. Строительство мостов и труб. – СПб.: Изд-во ДНК, 2007. – 288 с.
10. Пименов С. А. Строительство мостов методом навесного бетонирования // Транспортное строительство. – 1964. – № 9. – С. 53-54.
11. Каньшин Е. Строительство мостов по технологии циклической продольной надвижки (ЦПН) // Наука и прогресс транспорта: Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2010. – № 33. – С. 106-110.
12. Смирнов В. Н. Особенности работы опор мостов скоростных железнодорожных магистралей // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2014. – №2. – С. 168-171.
13. Якунин В. И., Тони О. В., Ивашкин А. Г. Строительство уникальных объектов транспортной системы олимпийского Сочи / под общ. редакцией проф. П. Г. Грабового. Часть III. Инновационно-технологические решения при проектировании и строительстве тоннелей и мостов олимпийской трассы: теория и практика. – М.: ОАО «РЖД», 2013. – 535 с.
14. Бобриков В. Б. Строительные работы и машины в мосто- и тоннелестроении: в двух частях. Часть 1. Основные положения технологии и механизации процессов строительного производства. – М: «ИД «Транспортная книга», 2008. – 630 с.
15. Вейнблат Б. М. Краны для строительства мостов: справочник. – М.: Транспорт, 1988. – 240 с.

References

1. Zaitsev A. A. *Transportnye sistemy i Tekhnologii - Transport Systems and Technologies*, 2015, no. 2 (2), pp. 5–15. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html>.
2. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. *Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic levitation transport technology]*. Moscow, 2014. 476 p.
3. Talashkin G. N., Kraskovskiy V. E., Smirnov V. N. & Potapova I. O. *Transportnye sistemy i Tekhnologii - Transport Systems and Technologies*, 2016, no. 1(3), pp. 112–125. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer3.html>.
4. Kraskovskiy V. E. *Obschie voprosy i proektirovaniya iskusstvennyih sooruzheniy na dorogah s ispolzovaniem magnitolevitatsionnoy tehnologii [The General Questions of Design of Artificial Constructions on Roads with use of Magnetic Levitation Technology]*. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation

transport systems and technologies” MTST’14). Kirov, 2014. pp. 72–78. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

5. Zaitcev A. A. & Antonov Y. F. *Izvestiya peterburgskogo universiteta putey soobscheniya – News of the St. Petersburg Transport University*, 2012, vol. 3, pp. 11–18.

6. TohoTenax & KawasakiHeavy Industries Company organize mass Production of Carbon Fiber Springs for Bogies of Railway Carriages [Press-release of “Teijin RUS”]. URL: <http://www.teijin-russia.ru/page/news/0107>.

7. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V. & Mihaldyikin E. S. *Internet zhurnal "Naukovedenie" – Online magazine "Naukovedeniye"*, 2016, vol. 3.

URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf> (16/11/2016).

8. Smirnov V. N. *Sovremennyye tehnologii mostostroeniya [Modern technologies of a bridge building]. Innovatsii na zheleznodorozhnom transporte – 2009: trudy yubileynoy nauch. tehn. konf. (Innovations on Railway Transport - 2009: Works of an Anniversary Scientific and Technical Conference)*. St. Petersburg, 2009, pp. 47–54.

9. Smirnov V. N. *Stroitelstvo mostov i trub [Construction of Bridges and Pipes]*. St. Petersburg, 2007, 288 p.

10. Pimenov S. A. *Transportnoe stroitelstvo – Transport construction*, 1964, vol. 9, pp. 53–54.

11. Kanshin E. *Nauka i progress transporta: Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta – Science and Progress of Transport: Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2010, vol. 33, pp. 106–110.

12. Smirnov V. N. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobscheniya – News of the St. Petersburg Transport University*, 2014, vol. 2, pp. 168–171.

13. Yakunin V. I., Toni O. V. & Ivashkin A. G. *Stroitelstvo unikalnykh ob'ektov transportnoy sistemy olimpiyskogo Sochi. Chast III. Innovatsionno-tehnologicheskie resheniya pri proektirovanii i stroitelstve tonneley i mostov olimpiyskoy trassy: teoriya i praktika [Construction of Unique Objects of Transport System of the Olympic Sochi. Part III. Innovative Technology Solutions at Design and Construction of Tunnels and Bridges of the Olympic Route: Theory and Practice]*. Moscow, 2013, 535 p.

14. Bobrikov V. B. *Stroitelnyie raboty i mashiny v mosto- i tonnelestroenii: v dvuh chastyakh. Chast 1. Osnovnyie polozeniya tehnologii i mehanizatsii protsessov stroitel'nogo proizvodstva [Construction Works and Cars in Bridge and Tunneling: in two parts. Part 1. Basic Provisions of Technology and Mechanization of Processes of Construction Production]*. Moscow, 2008, 630 p.

15. Veynblat B. M. *Kranyi dlya stroitelstva mostov: spravochnik [Cranes for Construction of Bridges: Reference Book]*. Moscow, 1988, 240 p.

Сведения об авторе:

ТАЛАШКИН Геннадий Николаевич, кандидат экономических наук, Президент Союза Строителей Железных Дорог, заведующий научно-исследовательской лабораторией "Инфраструктура магнитолевитационного транспорта" НОЦ ПП ПГУПС
E-mail: talkomsk@gmail.com

Information about author:

Gennadiy N. TALASHKIN, Candidate of Economic Sciences, President of the Union of Builders of the Railroads, manager of scientifically research laboratory "Infrastructure of Magnetolevitation Transport" Scientific and Educational Center of Passenger Traffic Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
E-mail: talkomsk@gmail.com

УДК 53.01:53.06.

А. Г. Сыромятников

ООО «Спектр – микро»

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРЕДЕЛ ДЛЯ КЕРАМИКИ НА МЕДИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИИ

Дата поступления 12.12.2016

Решение о публикации 14.12.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: В статье рассказано о свойствах высокотемпературной керамики на меди для транспортных систем на магнитолевитационной основе.

Введение: По методу вторичного квантования в диаграмной технике [1] для четырехфермионного взаимодействия с потенциалом с твердым ядром вида [2-3] рассмотрена задача о фазовом переходе при высоких температурах. Суммирование диаграмм теории возмущений произведено в самом общем виде. Переход к высокотемпературному пределу произведен непосредственно в основном уравнении сверхпроводимости для энергетической щели, что приводит данное уравнение к виду линейного интегрального уравнения. Последнее решено точно. Удвоенная величина ядра отождествлена с параметром решетки для ряда соединений на меди. Приведены результаты применения данного подхода при различных критических температурах.

Цель: Разработка теории высокотемпературной керамики на меди для транспортных систем на магнитолевитационной основе.

Метод: Для достижения поставленной цели использовался метод вторичного квантования в диаграмной технике [1] для четырехфермионного взаимодействия с потенциалом с твердым ядром вида [2-3]. Удвоенная величина ядра отождествлена с параметром решетки для ряда соединений на меди. Параметры решетки и др. взяты из книги [4]. Переход к высокотемпературному пределу произведен непосредственно в основном уравнении сверхпроводимости для щели, что приводит данное уравнение к виду линейного интегрального уравнения. Последнее решено точно. Определение энергетической выгоды образования такого конденсата производится путем расчета корреляционного термодинамического потенциала.

Результаты:

1. получено точное решение основного уравнения сверхпроводимости для энергетической щели в высокотемпературном пределе в объеме, распределенное (сосредоточенное) на сфере некоторого радиуса обратно пропорционального критической температуре; расчет корреляционного термодинамического потенциала показал энергетическую выгоду образования такого конденсата;

2. данное точное решение основного уравнения сверхпроводимости для энергетической щели допускает дополнительно целую серию решений с меньшими в целом число раз температурами как в табл. 18 книги [4];

3. приведены результаты детального расчета параметров для четырех видов высокотемпературной керамики на меди при различных критических температурах; постоянная эффективного взаимодействия g_3 имеет порядок постоянной Ферми слабого взаимодействия на три порядка слабее электромагнитного.

Заключение: В результате проведенных исследований была разработана теория

высокотемпературной керамики на меди для транспортных систем на магнитолевитационной основе. Сверхпроводящий конденсат локализован на поверхности сфер дискретного радиуса обратно пропорционально критической температуре. Установлено, что отношение глубины ямы $U = g_s/R_s$ к критической температуре во всех случаях унифицируется к постоянной величине, равной 0.880 в пределах допустимого разброса 0.11.

Ключевые слова: керамика на меди, магнитная левитация, дискретность критической температуры, дискретная структура энергетической щели.

A. G. Syromyatnikov

ООО “Spectrum-micro”

HIGH TEMPERATURE LIMIT FOR CERAMICS ON THE COPPER FOR TRANSPORT SYSTEMS BASED ON MAGNETIC LEVITATION

Annotation: The article talked about the properties of high-temperature ceramics to copper for transport systems on a magnetolevitation basis.

Introduction: On the method of secondary quantization in the diagram technique [1] for the four Fermion interaction with potential with a solid core of [2-3] considered the phase transition at high temperatures. Summation of diagrams of perturbation theory was in its most general form. The transition to the high temperature limit is produced directly in the main equation of superconductivity for the energy gap, which causes this equation to a linear integral equation. Most solved exactly. Twice the value of core wired with lattice parameter for the number of compounds on copper. Shows the results of applying this approach in various critical temperatures.

Objective: Development of the theory of high-temperature ceramics to copper for transport systems on a magnetolevitation basis.

Method: In order to achieve this goal have been used the method in the diagram technique [1] for the four Fermion interaction with potential with a solid core of [2-3]. Twice the value of core wired with lattice parameter for the number of compounds on copper. Lattice parameters, etc. taken from the book [4]. The transition to the high temperature limit is produced directly in the main equation of superconductivity for the energy gap, which causes this equation to a linear integral equation. Most solved exactly. Definition of energy formation benefit this condensate is produced by calculating the correlative thermodynamic potential.

Results:

1. the exact solution is obtained for the basic equation of superconductivity for energy gap in high temperature limit in volume, distributed (focused) on a sphere with some radius which is in back proportional to the critical temperature; the calculation of correlation for thermodynamic potential showed energy advantage formation such a condensate;

2. the exact solution of the basic equation of superconductivity for energy gap allows a whole series of further decisions with less in an integer times temperatures as in table 18 in book [4];

3. presents the results of detailed calculation of parameters for four types of high-temperature ceramics on copper at different critical temperatures; the effective interaction coupling g_e has order of the Fermi weak interactions coupling in three orders of magnitude weaker than the electromagnetic one.

Conclusion: As a result of the research was developed the theory of high-temperature ceramics to copper for transport systems on a magnetolevitation basis. Superconducting

condensate is localized at the surface of spheres of a discrete radius which is in inversely proportional to the critical temperature. Found that the pit depth ratio $U = g_e/R_c$ to the critical temperature is incorporated in all cases to a constant value equal to 0.880 within allowable dispersion of 0.11.

Keywords: ceramics to copper, magnetic levitation, discreteness critical temperature, discrete structure of energy gap.

Введение

Научные и практические разработки технологии создания грузового магнитолевитационного транспорта [5-14] ведутся с применением высокотемпературной керамики на меди. Свойства данных соединений еще не достаточно изучены. В настоящей работе проводится их теоретическое изучение в высокотемпературном пределе, когда задача может быть решена точно. Для достижения поставленной цели использовался метод вторичного квантования в диаграмной технике [1] для четырехфермионного взаимодействия с потенциалом с твердым ядром вида [2-3]. Удвоенная величина ядра отождествлена с параметром решетки для ряда соединений на меди. Параметры решетки и др. взяты из книги [4]. Переход к высокотемпературному пределу произведен непосредственно в основном уравнении сверхпроводимости для щели, что приводит данное уравнение к виду линейного интегрального уравнения. Последнее решено точно. Определение энергетической выгоды образования такого конденсата производится путем расчета корреляционного термодинамического потенциала.

1. Базовая модель

Рассмотрим систему электронов с четырех- фермионным взаимодействием вида экранированного кулоновского взаимодействия потенциал с твердым ядром

$$\phi = -\frac{g}{a} \ln \left(\frac{1}{1 + \frac{a}{r}} \right) \quad (1)$$

При малом радиусе $r < |a|$ сила (2) –

$$F = -\frac{g}{ar} \quad (2)$$

эквивалентна силе притяжения протяженной массивной нити.

Потенциал (1) интересен тем, что именно потенциалы такого вида способны обеспечить конденсацию газа по уравнению Ван-Дер-Ваальса [1]. Модель твердых шаров, как известно далека от реальности трехмерного пространства.

Цель данного раздела состоит в определении природы экранирования на основе применения формализма функций Грина [1] к фазовому переходу к сверхпроводимости (SQ) при высоких температурах.

1.1. Метод функций Грина при нулевой температуре в приближении Хартри-Фока

Гамильтониан

$$H = \int d^3x \Psi_\alpha^+(x) H^{(1)} \Psi_\alpha(x) + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(1+2s)} \iint d^3x d^3y \Psi_\alpha^+(x) \Psi_\beta^+(y) V_{\alpha\alpha'\beta\beta'} \Psi_{\alpha'}(y) \Psi_{\beta'}(x), \quad (3)$$

$\alpha, \beta \dots$ – спинорные индексы, там где их нет они подразумеваются, по повторяющимся спиновым индексам производится суммирование с учетом спинового нормировочного множителя $(1+2s)$ по спине фермионов $s = 1/2$,

коммутиционные соотношения $\{\Psi(x)\Psi^+(x')\} = \delta^3(x-x')$,

оператор числа частиц –

$$N = \int d^3x \Psi^+(x)\Psi(x).$$

При приведении гамильтониана (3) к нормальному виду мы применим каноническое преобразование [1] «частица – дырка», при котором множество всех уровней α разбивается на две группы 1, 2 и вводятся операторы b_α, b_α^+ [1, дополнительная литература].

$$b_\alpha = a_\alpha, b_\alpha^+ = a_\alpha^+, \alpha \in 1, \varepsilon_\alpha \geq \varepsilon_F;$$

$$b_\alpha = a_\alpha^+, b_\alpha^+ = a_\alpha, \alpha \in 2, \varepsilon_\alpha < \varepsilon_F.$$

Тогда разложение по полной ортонормированной системе $\varphi_{k\alpha}(x)$ собственных функций оператора одночастичной энергии (3) записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Psi_\alpha(x) &= \sum_\alpha (\chi_1(\alpha) b_\alpha + \chi_2(\alpha) b_\alpha^+) \varphi_\alpha(x), \\ \Psi_\alpha^+(x) &= \sum_\alpha (\chi_1(\alpha) b_\alpha^+ + \chi_2(\alpha) b_\alpha) \varphi_\alpha^*(x), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\chi_{1,2}$ – характеристические функции множеств 1, 2 соответственно:

$$\chi_1(\alpha) = 1, \alpha \in 1;$$

$$\chi_1(\alpha) = 0, \alpha \in 2;$$

$$\chi_2(\alpha) = 1, \alpha \in 2;$$

$$\chi_2(\alpha) = 0, \alpha \in 1;$$

для коэффициентов разложения (4) при квантовании получаются стандартные перестановочные соотношения операторов рождения – уничтожения:

$$\{a_n, a_{n'}^+\} = \delta_{nn'}, \{a_n, a_{n'}\} = 0, \{a_n^+, a_{n'}^+\} = 0$$

и аналогично для операторов рождения и уничтожения b_k, b_k^+ в фокковском пространстве.

Основное состояние при отсутствии дискретных уровней с $\varepsilon = \varepsilon_F$ - внутри сферы Ферми, а если есть дискретные уровни с $\varepsilon = \varepsilon_F$, тогда основное состояние вырождено с кратностью 2^n , n - число состояний с $\varepsilon = \varepsilon_F$.

$$\Psi_0^{(0)} : a_\alpha \Psi_0^{(0)} = 0.$$

Поскольку взаимодействие (2) в (3) мало, то рассматриваемая система сходна с идеальным газом, в котором есть определенные уровни, заполненные до уровня Ферми $\varepsilon(p_F) = \mu$ (μ - химический потенциал).

Приведение гамильтониана (3) к нормальному виду производится согласно общему выражению для нормального произведения операторов [1].

$$A_1 \dots A_{n+1} = A_1 A_2 \dots A_n a_{n+1} + (-1)^n b_{n+1} A_1 \dots A_n + \sum_{k=1}^n (-1)^{n-k} n_{21}^b(x_k, x_{n+1}) [A_1 \dots A_n]_k,$$

$$A_i = a(x_i) + b(x_i),$$

$$n_{21}^b(x_k, x_{n+1}) = a(x_k) b(x_{n+1}) + b(x_{n+1}) a(x_k),$$

роль операторов здесь играют операторы рождения и уничтожения (индекс k справа у квадратной скобки в обозначении проф. А.Н. Васильева означает отсутствие оператора A_k), путем последовательного применения формулы N_b - произведения для пары операторов-

$$\Psi_{\beta'}^+(x) \Psi_{\beta}(y) = N_b(\Psi_{\beta'}^+(x) \Psi_{\beta}(y)) + \rho_{\beta\beta'}^b(x, y),$$

свертки

$$\underbrace{\Psi_{\alpha}^+(x) \Psi_{\beta}(y)} = \rho_{\beta\alpha}^b(y, x)$$

определяют матрицу плотности (с индексом 21, который здесь и далее опущен)

$$\rho_{\beta\alpha}^b(x, y) = \delta_{\beta}^{\alpha} \sum_{\alpha'} \chi_2(\alpha') \varphi_{\alpha'}(y) \varphi_{\alpha'}^*(x) = \delta_{\beta}^{\alpha} n^b(x, y), \varphi_{\alpha} - \text{волновые функции в}$$

формализме чисел заполнения;

В энергетическом представлении

$$\rho_{\beta\alpha}^b(x, t, y, t') = \frac{-i}{2\pi} \delta_{\beta}^{\alpha} \int dE \sum_{\alpha'} \left[\frac{\chi_2}{E + \varepsilon_{\alpha'} - \mu + i0} + \frac{\chi_1}{E + \varepsilon_{\alpha'} - \mu - i0} \right]$$

$$\varphi_{\alpha'}^*(x) \varphi_{\alpha'}(y) \exp iE(t' - t).$$

В результате приведения гамильтониана (3) к нормальному виду (5):

E_1 - это C - число.

$$E_1 = \int d^3x d^3y V(x-y) \left[n^b(y, y) n^b(x, x) - \frac{1}{2} n^b(x, y) n^b(y, x) \right],$$

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_{HF} \varphi_{\alpha}(\bar{x}) = & \int d^3y V(\bar{x} - \bar{y}) \left(2((\chi_1(\alpha))^2 - (\chi_2(\alpha))^2) n^b(\bar{y}, \bar{y}) \varphi_{\alpha}(\bar{x}) - \right. \\ & \left. + (\chi_2(\alpha))^4 n^b(\bar{y}, \bar{x}, \bar{y}) \varphi_{\alpha}(\bar{y}) \right), \end{aligned} \quad (5)$$

для случая газа с парным взаимодействием с потенциалом (2):

$$V_{\alpha\alpha'\beta\beta'}(\vec{x} - \vec{y}) = V(\vec{x} - \vec{y})\delta_{\alpha\alpha'}\delta_{\beta\beta'}, V(\vec{x}) = \phi(\vec{x}). \quad (6)$$

Постоянная взаимодействия g будет определена ниже.

Корреляционное взаимодействие

$$\begin{aligned} NH_1 = & \iint d^3x d^3y V(\vec{x} - \vec{y}) \sum_{\alpha, \beta} [b_{\alpha}^+ b_{\beta}^+ b_{\beta} b_{\alpha} ((\chi_1(\alpha))^2 ((\chi_1(\beta))^2 - (\chi_2(\beta))^2)) \\ & \cdot \varphi_{\alpha}^*(\vec{x}) \varphi_{\beta}^*(\vec{y}) \varphi_{\alpha}(\vec{x}) \varphi_{\beta}(\vec{y}) - \\ & - b_{\beta}^+ b_{\alpha}^+ b_{\alpha} b_{\beta} (\chi_2(\alpha))^2 ((\chi_1(\beta))^2 + (\chi_2(\beta))^2) \varphi_{\alpha}^*(\vec{x}) \varphi_{\beta}^*(\vec{y}) \varphi_{\alpha}(\vec{x}) \varphi_{\beta}(\vec{y})] \\ & (\chi_1(\beta))^2 + (\chi_2(\beta))^2 = 1. \end{aligned}$$

Суммирование по поляризациям здесь произведено. Вклады всех других членов зануляются независимо от поляризации за счет множителя вида $\chi_1(\beta)\chi_2(\beta) \equiv 0$.

После перестановки коммутирующих операторов все выражение приводится к симметричному виду:

$$\begin{aligned} NH_1 = & \iint d^3x d^3y V(\vec{x} - \vec{y}) \sum_{\alpha, \beta} b_{\alpha}^+ b_{\beta}^+ b_{\beta} b_{\alpha} \\ & ((\chi_1(\alpha))^2 ((\chi_1(\beta))^2 - (\chi_2(\beta))^2) - (\chi_2(\alpha))^2 ((\chi_1(\beta))^2 + (\chi_2(\beta))^2)) \cdot \\ & \cdot \varphi_{\alpha}^*(\vec{x}) \varphi_{\beta}^*(\vec{y}) \varphi_{\alpha}(\vec{x}) \varphi_{\beta}(\vec{y}), \\ & (\chi_1(\beta))^2 + (\chi_2(\beta))^2 = 1. \end{aligned}$$

Химический потенциал Ферми – газа:

$$\mu = \frac{1}{2m} \left(3\pi^2 \frac{N}{\Omega} \right)^{2/3}. \quad (7)$$

$$\rho_{\alpha\beta}(x, y) = \delta_{\alpha\beta} n^b(\vec{x} - \vec{y}), \quad (8)$$

хартри – фоковский потенциал (6) для дырок из группы 2

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{HF} \varphi_{\alpha}(\vec{x}) = & \int d^3y V(\vec{x} - \vec{y}) (2n^b(0) \varphi_{\alpha}(\vec{x}) - n^b(\vec{x} - \vec{y}) \varphi_{\alpha}(\vec{y})) \\ (9) \quad 2n^b(0) = & \frac{2}{(2\pi)^3} \int d^3p \Theta(\vec{p}_F - \vec{p}) = \nu = \frac{N}{\Omega}, \end{aligned} \quad (10)$$

N – число частиц, Ω – объём. В однородной системе волновые функции определены через спиноры

$$\varphi_{\sigma}(\vec{x}) = \frac{1}{\sqrt{\Omega}} e^{i\vec{p}\cdot\vec{x}} u_{\sigma}.$$

В случае кулоновского взаимодействия первый член (9)

$$\mathcal{E}_{HF} = 2 \int d^3y V(\vec{x} - \vec{y}) n^b(0) \quad (11)$$

расходится и относится к бесконечному сдвигу основного уровня энергии. Однако, для потенциала (2) в случае $a < 0$ область интегрирования в (12) разбивается на две несвязные части $r < a$ и $r > a$. Внутри сферы радиуса a интеграл (12) сходится к

$$\varepsilon_{HF}^1 = \nu \int_{|\bar{x}-\bar{y}| \leq a} d^3 y \frac{g}{a} \ln \left(\frac{1}{\left| \frac{a}{|\bar{x}-\bar{y}} - 1 \right|} \right) = 2\pi a^2 \nu g. \quad (12)$$

Эту часть энергии Хартри–Фока естественно включить в одночастичный гамильтониан, а остаток интегрирования отнести к сдвигу основного уровня энергии как обычно. Такого рода добавка появляется в собственно–энергетической части Σ .

Учет обменного интеграла в (9) дает спектр одночастичного взаимодействия

$$\varepsilon(p) = \frac{\bar{p}^2}{2m} + \varepsilon_{HF}^{(1)} + \mathcal{G}_1(p). \quad (13)$$

Поскольку $\mathcal{G}_1(p)$ есть оператор умножения, то решение уравнения Хартри–Фока есть плоская волна

$$\varphi_{\bar{p},\sigma}(\bar{k}) \sim \delta^3(\bar{p} - \bar{k}) u_{\sigma}.$$

Таким образом, волновая функция системы фермионов со взаимодействием (2) есть плоская волна с законом дисперсии (14), рассматриваемым как чисто квантовый эффект обменного взаимодействия.

Химический потенциал

$$\mu_0 = \frac{p_F^2}{2m} + \varepsilon_{HF}^{(1)} + \mathcal{G}_1(p_F). \quad (14)$$

Вычисление $\mathcal{G}_1(p)$:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}_1(p) &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int e^{i\bar{p}\bar{x}} \frac{g}{a} \ln \frac{1}{\left| 1 - \frac{a}{|\bar{x}|} \right|} \frac{1}{(2\pi)^3} e^{i\bar{k}\bar{x}} \Theta(\bar{p}_F - \bar{k}) d^3 k d^3 x = \\ &= \frac{g}{(2\pi)^3} \int F(\bar{p} - \bar{k}) \Theta(\bar{p}_F - \bar{k}) d^3 k, \end{aligned} \quad (15)$$

где F – фурье–образ потенциала (2):

$$\begin{aligned} F(\bar{k}) &= \frac{4\pi}{(2\pi)^3} \int_0^\infty dx \cdot x \cdot \frac{\sin kx}{k} \frac{1}{a} \ln \left(\frac{1}{\left| 1 - \frac{a}{x} \right|} \right) = \\ &= \frac{4\pi}{(2\pi)^3} \frac{a^2}{k \sqrt{2\pi}} \frac{d}{dk} I(\bar{k}), \end{aligned} \quad \bar{k} = ka. \quad (15A)$$

Интеграл (15A) определяется через табличный интеграл:

$$I(k) = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^{\infty} dx \cos kx \ln \left| \frac{x + \varepsilon}{x - 1} \right| =$$

$$= \frac{1}{k} \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - \cos k) - \cos k Si(k) + \sin k Ci(k) \right\},$$

$$Ci(k) = -\int_k^{\infty} dx \frac{\cos x}{x}, Si(k) = \int_0^k dx \frac{\sin x}{x} -$$

– интегральный косинус и синус соответственно.

При малых импульсах и при учете малости a –

$$F(k) \cong \frac{4g\pi}{k^2} \left[1 + \frac{\pi}{4} ka + \frac{a^2 k^2}{3} \left(\frac{4}{3} - C - \ln(ak) \right) + \dots \right] \quad (16)$$

$C = 0.577\dots$ – постоянная Эйлера.

$$\mathcal{G}_{HF} = 2\pi a^2 g v + \mathcal{G}_1. \quad (17)$$

Точное соотношение между импульсом Ферми и длиной экранирования в критической точке (см. ниже):

$$a = \frac{\pi^2 \sqrt{12}}{p_F}. \quad (18)$$

Постоянная взаимодействия g определяется через импульс Ферми с помощью расчетного соотношения типа (17), в котором параметр экранирования a отождествлен с параметром длины кристаллической ячейки, например, для сверхпроводящей керамики на меди типа 1 : 2 : 3 $a \cong 0.38$ нм. Тогда по формуле (17) можно оценить величину константы взаимодействия порядка 10^{-5} в системе единиц $c = \hbar = m_p = 1$ (m_p – масса протона). В эту формулу следует подставлять эффективную массу электрона в решетке, определенную как обычно с учетом перенормировки через обменный интеграл. В этом случае отрицательных a , введение добавки (12) к энергии Ферми по « a » от вакуумного сдвига оказывается очень существенным, поскольку без этого импульс Ферми в соотношении типа (18) для (17) падает в 3 раза по сравнению со случаем положительных a , и возможно энергия Ферми вообще положительна.

В любом случае сверхпроводящая система при высоких температурах характеризуется как плотная, поскольку пространственный Фурье – образ точного решения (см. ниже) основного уравнения сверхпроводимости в высокотемпературном пределе для энергетической щели оказался сосредоточенным на двумерной поверхности сферы. Переход к пределу высоких температур произведен непосредственно в основном уравнении для щели, так что все выполнено в самом общем виде.

1.2. Сжатые системы

Сумма связанных диаграмм порядка n характеризуется двумя параметрами: $\beta = 4\pi g m / p_F = \pi^2 / 224.18 = 0.0440$ – сила взаимодействия, и $\eta = a \cdot p_F = 34.2$ – характеристика плотности состояний в критической точке при нулевой энергии Ферми. $1/\eta = 0.0292$ – малый параметр. Это позволяет использование теории возмущений после проведения суммирования и перенормировки с учетом среды.

Вычисление эффективного взаимодействия с учетом влияния среды приводит к потенциалу

$$V_{eff}(\vec{k}, \omega) = \frac{V(\vec{k})}{1 - V(\vec{k})\Pi(\vec{k}, \omega)} = \frac{4\pi \cdot g \left(1 + \frac{\pi}{4} k a \text{sign}(a) + \frac{k^2 a^2}{3} \left(\frac{4}{3} - C - \ln(ka) \right) \right)}{\left[1 + \xi \frac{16mg}{\pi \cdot p_F} \left(\frac{4}{3} - C - \ln(ka) \right) \right] \cdot \left[k^2 + \xi \frac{4mgp_F (1 + \pi \frac{ka}{4} \text{sign}(a))}{1 + \xi \cdot \frac{16mg}{\pi \cdot p_F} \left(\frac{4}{3} - C - \ln(ka) \right)} \right]} \quad (19)$$

вида экранированного кулоновского потенциала (31) ($\xi \sim -1$), характеризуемого «дебаевским радиусом» $a/2$ и перенормировкой постоянной связи g . $\xi = +1$ для вакуумного состояния, $\xi \sim -1$ для заполненного состояния.

1.3. Высокотемпературная сверхпроводимость

Возникновение сверхпроводимости по методу функций Грина обусловлено образованием нового основного состояния при включении взаимодействия, что характеризуется меньшей симметрией. Отличие нового вакуума от старого после фазового перехода характеризуют аномальной функцией Грина. Для них строят уравнение, зависящее от них самих, и если после включения взаимодействия будет нетривиальное решение, то это позволит определить принципиальную возможность фазового перехода.

Основное уравнение сверхпроводимости для энергетической щели Ξ

$$\Xi(p^2) = -\frac{1}{(2\pi)^3} \int \frac{d^3 p' \Xi(p') V(p')}{2\sqrt{\zeta^2 + \Xi^2}} \text{th} \left(\frac{\beta}{2} \sqrt{\zeta^2 + \Xi^2} \right) \quad (20)$$

$$\beta = \frac{\hbar}{kT}, \zeta(\vec{p}) = \varepsilon(\vec{p}) - \mu - \Sigma(\vec{p}),$$

$F = \frac{\Xi}{\zeta^2 - \varepsilon^2 - \Xi^2}$ - аномальная функция Грина

$$\langle \Psi_0 | T \{ \psi_\alpha^\pm(x) \psi_\beta^\pm(y) \} | \Psi_0 \rangle = \pm i (\sigma_y)_{\alpha\beta} F(x-y).$$

В пределе высоких температур $\beta \rightarrow 0$

$$\text{th}\left(\frac{\beta}{2}\sqrt{\zeta^2 + \Xi^2}\right) \approx \frac{\beta}{2}\sqrt{\zeta^2 + \Xi^2}$$

происходит сокращение этого множителя с корнем в знаменателе (20). В результате основное уравнение сверхпроводимости приводится к виду линейного уравнения

$$\Xi(p^2) = -\frac{2\pi\beta}{(2\pi)^3} \int_0^\infty p'^2 dp' \Xi(p') V(p-p') \int_{-1}^1 d(\cos\Theta). \quad (21)$$

Так как $k = \sqrt{p^2 + p'^2 - 2pp' \cos\Theta}$, то

$$\begin{aligned} \Xi(y) &= -\frac{2\pi \cdot g\beta f}{4 \cdot (2\pi)^3} \int_0^8 x^2 dx \Xi(x) \cdot \int_{|y-x|}^{|y+x|} \frac{\bar{k} d\bar{k}}{xy} \cdot \frac{1}{\bar{k}\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{d}{d\bar{k}} I(\bar{k}) = \\ &= \frac{xdx}{y} \Xi(x) \cdot \\ &= -\frac{\sqrt{2\pi} \cdot g\beta f}{4 \cdot (2\pi)^3} \int_0^8 \left(\frac{\pi(1-\cos\bar{k}) + \sin\bar{k} Ci(\bar{k}) - \cos(\bar{k}) Si(\bar{k})}{\bar{k}} \right) \Bigg|_{|y-x|}^{|y+x|} \end{aligned} \quad (22)$$

f – численный нормировочный коэффициент. Наиболее сингулярная часть (22) дает:

$$\Xi(y) = -\frac{2\pi \cdot g\beta}{(2\pi)^3} \cdot 4\pi \int_0^\infty \frac{x}{y} dx \Xi(x) \ln \left| \frac{y+x}{y-x} \right| \quad (23)$$

Точное решение уравнения (23):

$$\Xi(y) = \frac{\sin by}{y}, \quad \text{где } b = \frac{\beta \cdot g}{4} = \frac{\beta \cdot e^2}{4}. \quad (24)$$

Критическая температура T_c перехода к сверхпроводимости определяется условием обращения в нуль энергетической щели $\Xi = 0$:

$$T_c = \frac{e^2 p_F}{4\pi \cdot l} = \frac{e^2}{4\pi \xi_c l}, l = 1, 2, \dots \quad (25)$$

Подстановка в эту формулу значения корреляционной длины ~ 6 нм дает $T_c \sim 190$ °K. Дискретные зависимости вида (25) известны (см.[4]).

Пространственный фурье-образ щели (24) в действительности локализован на двумерной поверхности сферы $r = \text{const}$. Это можно показать с помощью теоремы Котельникова. Таким образом, сверхпроводящая энергетическая щель при высоких температурах сосредоточена на двумерной (квазидвумерной) пленке, как это и наблюдается в эксперименте. Приведение задачи к двумерной существенно облегчает анализ проявления сверхпроводимости, поскольку все известные модели высокотемпературной сверхпроводимости двумерные.

1.4. Расчет термодинамического потенциала ферми – газа с экранированным взаимодействием.

При вычислении добавки к термодинамическому потенциалу в данном случае достаточно учесть [1-2] вклады диаграмм третьего порядка от малых импульсов k при $w_n = 0$:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_c = \Phi - \Phi_0 &= -\frac{\Omega}{(2\pi)^3 2\beta} \sum_n \int d^3k \{ \ln(1 - Q(k, w_n)) + Q(k, w_n) \} = \\ &= -\frac{4\pi\Omega}{(2\pi)^3 2\beta} \int_0^\infty dk k^2 \left\{ \ln \left[1 + \frac{\bar{a} \left(1 - \frac{\pi}{4} ak \right)}{k^2} \right] - \left[\frac{\bar{a} \left(1 - \frac{\pi}{4} ak \right)}{k^2} \right] \right\} + O\left(\frac{g^2 \Omega}{T^4}\right) = \\ &= \frac{4\pi\Omega}{(2\pi)^3 2\beta} \frac{2\bar{a}^2}{3} \int_0^\infty dk \frac{1}{\left[k^2 + \bar{a} \left(1 - \frac{\pi}{4} ak \right) \right]} = \frac{\Omega}{12\pi\beta} \frac{\bar{a}^2}{|x|} \ln \frac{\left| x - \frac{\pi}{8} |\bar{a}| a \right|}{\left| x + \frac{\pi}{8} |\bar{a}| a \right|} < 0, \end{aligned}$$

$$x^2 = \frac{\pi^2 a^2 \bar{a}^2}{64}.$$

$$\Delta\Phi = \sqrt{\beta} \ln |\beta - \beta'_c|.$$

$$\bar{a} = 4\pi g \beta v - \text{длина рассеяния}, \beta'_c = \beta_c \frac{1}{\pi^2}.$$

Где $\beta'_c = \frac{4\pi l}{|g| p_F} = \frac{4\pi l a}{|g| \pi^2 \sqrt{12}}$ ($l = 1, 2, \dots$), что приводит к определению

импульса ферми согласно (18) в согласии с (25).

Данное выражение в силу отрицательности сдвига свободной энергии (как в случае бозе – газа) означает, что образование конденсата фермионов энергетически выгодно, причем выражение для теплоемкости данной трехмерной системы содержит логарифм Онзагера *двумерной* модели Изинга.

2. Результаты

В развитие методов квантовой теории [1] поля по методу вторичного квантования рассмотрена задача о фазовом переходе при высоких температурах для четырехфермионного взаимодействия с потенциалом вида [2-3] с твердым ядром. Удвоенная величина ядра отождествлена с параметром решетки для ряда соединений на меди. Суммирование диаграмм теории возмущений произведено в самом общем виде. Переход к высокотемпературному пределу произведен непосредственно в основном уравнении сверхпроводимости для щели, что приводит данное уравнение к виду линейного интегрального уравнения. Последнее решено точно, причем кроме нулевого нормального решения имеется нетривиальное решение в объеме, распределенное (сосредоточенное) на сфере некоторого радиуса обратно пропорционально критической температуре. Произведен

расчет корреляционного термодинамического потенциала. Что показало энергетическую выгодность образования такого конденсата. Данное точное решение основного уравнения сверхпроводимости для щели допускает дополнительно целую серию решений с меньшими температурами в целое число раз как в табл. 18 книги [4] (это имеет место также в аналогичном подходе для мировой структуры энергетических щелей гравитационного сверхпроводящего конденсата, устанавливающей наблюдаемые границы спектра масс частиц и резонансов [15]). Ниже в табл. 1 приведены результаты детального расчета параметров для четырех видов сверхпроводящей керамики на меди при различных критических температурах. Параметры решетки и др. взяты из книги [4]. Постоянная эффективного взаимодействия имеет порядок постоянной Ферми слабого взаимодействия на три порядка слабее электромагнитного.

Таким образом, получено точное решение основного уравнения сверхпроводимости для энергетической щели в высокотемпературном пределе в объеме, распределенное (сосредоточенное) на сфере некоторого радиуса обратно пропорционального критической температуре; расчет корреляционного термодинамического потенциала показал энергетическую выгодность образования такого конденсата.

Данное точное решение основного уравнения сверхпроводимости для энергетической щели допускает дополнительно целую серию решений с меньшими в целое число раз температурами как в табл. 18 книги [4].

Приведены результаты детального расчета параметров для четырех видов высокотемпературной керамики на меди при различных критических температурах; постоянная эффективного взаимодействия g_3 имеет порядок постоянной Ферми слабого взаимодействия на три порядка слабее электромагнитного.

Таблица 1. Высокотемпературный предел сверхпроводимости.

Критическая температура T , °К	Сверхпроводник	Постоянная взаимодействия экранирующего потенциала, g ($e=mp=\hbar=1$)	Постоянная эффективного потенциала, g_3	Удвоенная длина экранирования как параметр решетки, нм	Эффективный радиус экранирования, R_3 , Å	Отношение глубины ямы $U = g_3/R_3$ к критической температуре, T
18.3	Nb_3Sb $m = 8 m_e$	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$2.3 \cdot 10^{-5}$	0.529	6.8	0.97
33	$La_{2-x}Sr_xCuO$ $m=1.2 m_e$	$3.4 \cdot 10^{-5}$	$4.8 \cdot 10^{-5}$	0.43	9.8	0.78
83	$La_{2-x}Sr_xCuO$ $m=1.2 m_e$	$8.55 \cdot 10^{-5}$	$8.07 \cdot 10^{-5}$	0.43	6.9	0.72

93	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}$ $m = 1.2 m_e$	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$10.62 \cdot 10^{-5}$	0.93	6.57	0.91
280	Керамика на меди	$25.3 \cdot 10^{-5}$	$23.5 \cdot 10^{-5}$	0.38	4.3	1.02
Среднее						0.880 ± 0.11
Синергетика вакуума для удвоенной массы свободного электрона [2]						0.883

Заключение

В результате проведенных исследований была разработана теория высокотемпературной керамики на меди для транспортных систем на магнитолевитационной основе. Сверхпроводящий конденсат локализован на поверхности сфер дискретного радиуса обратно пропорционально критической температуре. Установлено, что отношение глубины ямы $U = g_0/R_0$ к критической температуре во всех случаях унифицируется к постоянной величине, равной 0.880 в пределах допустимого разброса 0.11.

Библиографический список

1. Васильев А. Н. Функциональные методы в квантовой теории поля и статистике. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1976. – 295 с.
2. Сыромятников А. Г. Физические эффекты конформной калибровочной теории тяготения. – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrucken, Germany, 2012. – 217 с.
3. Сыромятников А. Г. Взаимодействие в квантовых гравитирующих системах // Вестник Санкт – Петербургского университета. – Сер. 4. 2009. – Вып. 4. – С. 410-425.
4. Давыдов А. С. Высокотемпературная сверхпроводимость. – Киев: Наук. думка, 1990. – 176 с.
5. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания // Транспортные системы и технологии. – 2015. – Вып. 2(2). – С. 5-15. – URL: <http://www.transstyst.ru/2razdel-1-1-zaitsev.html.html> (дата обращения: 30.11.2016).
6. Зайцев А. А. Эффект сверхпроводимости ускорит развитие экономики страны // Гудок. – 2015. – № 23. – С. 5.
7. Антонов Ю. Ф. Криотурбогенератор КТГ-20: опыт создания и проблемы сверхпроводникового электромашиностроения / Ю. Ф. Антонов, Я. Б. Данилевич. – М.: ФИЗМАИЛИТ, 2013. – 60 с. – ISBN 978-5-9221-1521-6.
8. Антонов Ю. Ф. Узел левитации как обращенная асинхронная машина с короткозамкнутым ротором / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, Е. И. Морозова // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: труды 2-й Междунар. научн. конф., Санкт-Петербург, 17–20

июня 2014. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 256-267. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 30.11.2016).

9. Антонов Ю. Ф. Исследование магнитодинамической левитации и электродинамического торможения грузовой транспортной платформы / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, Е. И. Морозова // Известия ПГУПС. – 2014. – № 4 (41). – С. 5-15.

10. Антонов Ю. Ф. Фундаментальные исследования перманентной левитации и разработка технических средств обеспечения функциональной связи дискретно-конвейерных и магистрально-высокоскоростных грузовых транспортных систем / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, А. Е. Андреева, Е. И. Морозова, Р. Р. Саттаров, Я. В. Соколова // Интеллектуальные системы на транспорте: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. «ИнтеллектТранс-2015». – СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 6-7.

11. Зайцев А. А. Разработка и испытание унифицированного сверхпроводникового модуля для систем магнитной левитации, боковой стабилизации и линейной тяги грузового транспортного средства / А. А. Зайцев, А. Е. Андреева, Ю. Ф. Антонов, А. Г. Середина, Е. Г. Середина, Е. Н. Андреев, Е. Р. Запретилина, И. Ю. Родин // Интеллектуальные системы на транспорте: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. «ИнтеллектТранс-2015». – СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 8-9.

12. Никитин В. В. Оценка совокупной массы электрооборудования комбинированной системы левитации и тяги на переменном токе с криогенной рефрижераторной системой / В. В. Никитин, Г. Е. Середина, В. М. Стрепетов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: Труды 2-й международной научной конференции, Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 209-213. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf. (дата обращения 30.11.2016).

13. Зайцев А. А. Разработка и испытание унифицированного сверхпроводникового модуля для систем магнитной левитации, боковой стабилизации и линейной тяги грузового транспортного средства / А. А. Зайцев, А. Е. Андреева, Ю. Ф. Антонов, А. Г. Середина, Е. Г. Середина, Е. Н. Андреев, Е. Р. Запретилина, И. Ю. Родин // Интеллектуальные системы на транспорте: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. «ИнтеллектТранс-2015». – СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 8-9.

14. Амосков В. М. Исследование и разработка пространственных вычислительных моделей активных и пассивных элементов системы левитации и боковой стабилизации, обеспечивающей устойчивость транспортного средства в замкнутом и открытом пространствах / В. М. Амосков, Д. Н. Арсланова, А. М. Базаров, А. В. Белов, А. А. Зайцев // Интеллектуальные системы на транспорте: тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. «ИнтеллектТранс-2015». – СПб.: ПГУПС, 2015. – С. 9-10.

15. Syromyatnikov A. G., The $g - 2$ muon anomaly in di-muon production with the torsion in LHC, *Int. J. Geom. Methods Mod. Phys.*, vol. 13, no. 7 (2016) 1650093 (27 pages) DOI: 10.1142/S0219887816500936

References

1. Vasiliev A. N. *Funkcionalnie metody v kvantovoi teorii polya i statistike* [Functional methods in quantum field theory and statistics]. Leningrad, 1976. 295 p.
2. Syromyatnikov A. G. *Fizicheskie effekti Konformnoi Kalibrovochnoi Teorii Tyagoteniya* [Physical effects of Conformal gauge theory of gravitation]. Saarbrucken, 2012. 217 p.
3. Syromyatnikov A. G. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta – Vestnik St. Petersburg University*, 2009, vol. 4, no. 4, pp. 410–425.
4. Davidov A. S. *Visokotemperatutnaya sverkhprovodimost* [High temperature superconductivity]. Kiev, 1990. 176 p.
5. Zaitcev A. A. *Transportnie sistemi i tekhnologii – Transport systems and technologies*, 2015. no. 2(2). pp. 5–15. URL: <http://www.transst.ru/2razdel-1-1-zaitsev.html.html>.
6. Zaitcev A. A. *Gudok – Hooter*, 2015, no 23, p. 5
7. Antonov Yu. F. & Danilevich Ya. B. *Krioturbogenerator KTG-20: opit sozdaniya i problem sverkhprovodnikovogo elektromashinostroeniya* [Krioturbogenerator CTG-20: experience of creation and problems of superconductor electric machine]. Moskow, 2013. 60 p. ISBN 978-5-9221-1521-6.
8. Antonov Yu. F., Zaitcev A. A. & Morozova E. I. *Uzel levitacii kak obrashchennaya asinhronnaya mashina s korotkozamknutym rotorom* [Site of levitation how to request asynchronous machine with squirrel cage rotor]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation transport systems and technologies” MTST'14). Kirov, 2014. pp. 256–267. URL: http://www.transst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.
9. Antonov Yu. F., Zaitcev A. A. & Morozova E. I. *Izvestiya PGUPS – News PSUWC*, 2014, no. 4 (41), pp. 5–15.
10. Antonov Yu. F., Zaitcev A. A., Morozova E. I., Andreeva A. E., Sattarov R. R. & Sokolova Ya. V. *Fundamentalnie issledovaniya permanentnoi levitacii i razrabotka tekhnicheskikh sredstv obespecheniya funktsionalnoi svyazi diskretno-konveiernikh i magistralno-visokoskorostnikh gruzovikh transportnikh system* [Fundamental research of permanent levitation and the development of technical means to ensure the functional relationship of the discrete-conveyor and trunk high-speed freight transport systems]. *Intellektualnie sistemy na transporte: tez. dokl. V Mezhdunarodnoi nauchno-*

prakticheskoi konf. "IntellektTrans-2015" (Intelligent transport systems: Proc. 5thInt.Sci.-Conf. «IntelektTrans-2015»). St. Petersburg, 2015, pp. 6–7.

11. Zaitcev A. A., Andreeva A. E., Antonov Yu. F., Sereda A. G., Sereda E. G., Andreev E. N., Zapretilina E. R. & Rodin I. Yu. Razrabotka i ispitaniye unificirovannogo sverkhprovodnikovogo modulya dlya system magnitnoi levitacii, bokovoi stabilizacii i lineinoi tyagi gruzovogo transportnogo sredstva [Development and testing of unified superconductor module for magnetic levitation systems, lateral stabilization and the linear traction freight vehicle]. *Intellektualnie sistemi na transporte: tez. dokl. V Mezdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konf. "IntellektTrans-2015"* (Intelligent transport systems: Proc. 5thInt.Sci.-Conf. «IntelektTrans-2015»). St. Petersburg, 2015. pp. 8–9.

12. Nikitin V. V., Sereda G. E. & Strepetov V. M. Otsenka sovokupnoi massi electrooborudovaniya kombinirovannoi sistemi levitacii i tyagi na peremennom toke s kriogennoi refrizeratornoi sistemoi [Score the total mass of the combined system of electrical traction and levitation on alternating current with Cryogenic freezing system]. *Trudy 2-j Mezdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitationnye transportnye sistemy i tekhnologii" MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference "Magnetocavitation transport systems and technologies" MTST'14). Kirov, 2014. pp. 209–213. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

13. Zajcev A. A., Andreeva A. E., Antonov Y. F., Sereda A. G., Sereda E. G., Andreev E. N., Zapretilina E. R. & Rodin I. Y. Razrabotka i ispytaniye unificirovannogo sverhprovodnikovogo modulya dlya sistem magnitnoj levitacii, bokovoj stabilizacii i lineinoj tyagi gruzovogo transportnogo sredstva [Development and testing of a uniform superconductor module for magnetic levitation systems, lateral stabilization and linear traction goods vehicle]. *Tez. dokl. V Mezdunar. nauch.-prakt. konf. "Intellektual'nye sistemy na transporte"* (Proc. rep. V Intern. scientific-practical. Conf. "Intelligent transport systems"). St. Petersburg, 2015, pp. 8–9.

14. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Bazarov A. M., Belov A. V. & Zaitcev A. A. Issledovanie i razrabotka prostranstvennikh vichislitelnykh modelei aktivnykh i passivnykh elementov sistemi levitacii i bokovoi stabilizacii, obespechivayuschei ustoichivost transportnogo sredstva v zamknutom i otkritom prostranstvakh [Research and development of spatial computer models of active and passive elements of levitation system and lateral stabilization, ensure vehicle stability in closed and open spaces]. *Intellektualnie sistemi na transporte: tez. dokl. V Mezdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konf. "IntellektTrans-2015"* (Intelligent transport systems: Proc. 5th Int. Sci.-Conf. «IntelektTrans-2015»). St. Petersburg, 2015, pp. 9–10.

15. Syromyatnikov A. G. *Int.J.GnomonometryMod.Phys.*, 2012, vol. 13, no. 7, 27 p. DOI: 10.1142/S0219887816500936

Сведения об авторах:

СЫРОМЯТНИКОВ Александр Генрихович, ведущий научный сотрудник ООО «Спектр-микро»

E-mail: alsyromyatnikov@mail.ru

Information of authors:

Alexandr G. SYROMYATNIKOV, Lead sci. collaborator, ООО "Spectrum-micro"

E-mail: alsyromyatnikov@mail.ru

Ю. Н. Каманин, Л. С. Ушаков

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОХОДКИ ТУННЕЛЕЙ В ТВЕРДЫХ ПОРОДАХ

Дата поступления 19.04.2016

Решение о публикации 12.12.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: В статье рассказано о планетарном исполнительном органе проходческого комбайна.

Введение: Ведение работ по проходке крепких скальных пород всегда связано с колоссальными энергозатратами. В частности из-за того, что в большинстве современных проходческих комбайнах разрушение производится резанием. А резание скальных пород процесс очень энергозатратный и требовательных к качеству режущего инструмента. В силу специфики этого способа комбайны должны иметь очень большую массу и габариты. Приведенные недостатки не являются критичными при прохождении длинных прямых туннелей. Но для проходки коротких технологических участков требуется технологическая машина значительно меньших габаритов. Таким инструментом может стать проходческий комбайн с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом.

Цель: Разработка концепции проходческого комбайна с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом.

Метод: Для достижения поставленной цели использовались такие общенаучные методы, как анализ и синтез, обобщение, аналогия, сравнение, системный подход. Аналитическая часть работы была проведена посредством исследования кинематики исполнительных органов с последующей оптимизацией их траекторий по методу SQP.

Результаты:

4. описана принципиальная конструкция планетарного ударно-скалывающего органа проходческого комбайна;
5. проведено исследование кинематики исполнительных органов;
6. получены оптимальные значения некоторых параметров планетарно ударно-скалывающего органа.

Заключение:

В результате проведенных исследований была обоснована необходимость в разработке компактных проходческих комбайнов, основанных на разрушении скальных пород ударно-механическим способом, позволяющим точно и, в тоже время, равномерно высвобождать энергию удара по всей поверхности забоя. Для равномерности распределения нагрузки на обрабатываемую поверхность были рассчитаны оптимальные скорости вращения исполнительных органов комбайна (метод SQP). Представленная статья является отправной точкой для дальнейшей разработки проходческих комбайнов с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом.

Ключевые слова: траектория движения, проходческий комбайн, рабочий орган, частота ударов, планетарный исполнительный орган, скорость движения, критерий оптимизации, методы оптимизации.

Y. N. Kamanin, L. S. Ushakov

I. S. Turgenev Orel State University

DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES IN TUNNELING IN HARD ROCK

Annotation: The article talked about planetary executive body of miner combine.

Introduction: Doing work on the sinking of the strong rock is always associated with huge energy consumption. In particular due to the fact that in most modern roadheader destruction produced by cutting. A cutting rocks process is very energy-intensive and demanding to the quality of the cutting tool. Due to the nature of this method combines must have a very large mass and dimensions. These shortcomings are not critical during the passage of the long straight tunnel. But for sinking short process areas required technological machine considerably smaller dimensions. Such an instrument can be a roadheader with planetary shock the shearing executive body.

Objective: Development of miner combine the concept of planetary shock the shearing executive body.

Method: In order to achieve this goal have been used such scientific methods as analysis and synthesis, generalization, analogy, comparison, system approach. The analytical part of the work was carried out by examining the kinematics of the executive bodies for further optimization of their trajectories by SQP method.

Results:

1. Describe the basic structure of the planetary shock-shear body heading machine;
2. a study of the kinematics of the executive bodies;
3. The obtained optimal values of some parameters of planetary impact-shear body.

Conclusion:

As a result of the research has been the necessity to develop compact tunneling machines, based on the destruction of rock shock-mechanical process that allows point-and, at the same time, uniformly release the impact energy across the bottom surface. For uniform load distribution on the surface to be treated the optimum rotational speed of the executive bodies of the combine were calculated (SQP method). Presented article is a starting point for further development of the tunneling machines with planetary shock the shearing executive body.

Keywords: trajectory of movement, roadheader, actuator, speed bumps, planetary executive body, speed, optimization criterion, optimization techniques.

Введение

Ведение работ по проходке крепких скальных пород всегда связано с колоссальными энергозатратами. В частности, из-за того, что в большинстве современных проходческих комбайнах разрушение производится резанием. А резание скальных пород процесс очень энергозатратный [8, 9, 13, 14] и требовательных к качеству режущего инструмента [10]. В силу специфики этого способа комбайны должны иметь очень большую массу и габариты. Приведенные недостатки не

являются критичными при прохождении длинных прямых туннелей. Но для проходки коротких технологических участков требуется технологическая машина значительно меньших габаритов. Таким инструментом может стать проходческий комбайн с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом.

1. Основная концепция

Основная идея применения планетарного ударно-скалывающего исполнительного органа заключается в максимально полном использовании способа импульсного разрушения применительно к проходческим комбайнам [15].

Для реализации этой идеи была разработана концепция планетарного ударно-скалывающего исполнительного органа, предназначенного для проведения горных выработок (тоннелей) по крепким породам (рис. 1) [11]. Планетарный ударно-скалывающий исполнительный орган состоит из вращающейся первичной планшайбы (2), установленной на мобильной базе, в которой встроено несколько несущих вторичных планшайб (1), на которых смонтированы ударно-скалывающие рабочие органы. Они отличаются тем, что исполнительную (ударную) часть представляют несколько соосно расположенных унитарных гидравлических устройств (молотов) (3). Молоты совершают вместе с рабочим органом относительные, и с планшайбой, переносное движение для нанесения ударов по груди забоя и производят разрушение массива со свободной поверхности.

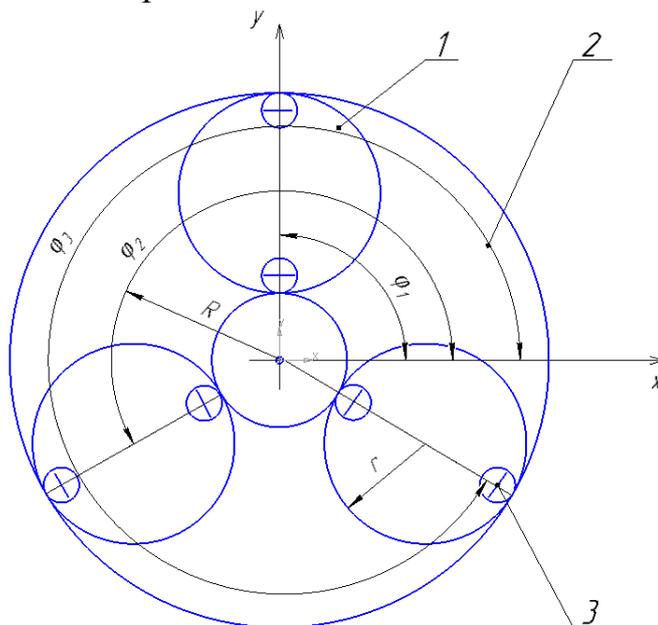


Рис. 1. Схема планетарного ударно-скалывающего исполнительного органа
 R – радиус вращения вторичных планшайб, r – радиус вторичной планшайбы,
 φ_i – угол положения i -ой вторичной планшайбы

2. Описание кинематики планетарного исполнительного органа

Одной из задач, требующих решения на этапе разработки основной концепции планетарного ударно-скалывающего исполнительного органа является определение оптимальных траекторий перемещения гидромолотов, которые являются совокупностью точек, соответствующих лунке или засечке, образующейся от удара инструментом по массиву породы. Под оптимальными траекториями здесь понимаются такие наборы точек, которые наиболее равномерно заполняют область обработки.

Используя разработанную расчетную схему, были составлены уравнения движения каждого из ударников (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{11} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_2 t + \varphi_1); \\ y_{11} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_2 t + \varphi_1); \\ x_{12} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_2 t + \varphi_1 + \pi); \\ y_{12} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_2 t + \varphi_1 + \pi); \\ x_{21} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_3 t + \varphi_2); \\ y_{21} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_3 t + \varphi_2); \\ x_{22} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_3 t + \varphi_2 + \pi); \\ y_{22} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_3 t + \varphi_2 + \pi); \\ x_{31} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_4 t + \varphi_3); \\ y_{31} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_4 t + \varphi_3); \\ x_{32} = R \cos(\omega_1 t) + r \cos(\omega_4 t + \varphi_3 + \pi); \\ y_{32} = R \sin(\omega_1 t) + r \sin(\omega_4 t + \varphi_3 + \pi), \end{array} \right.$$

где $\omega_i = 2\pi n_i$ - угловая скорость вращения оснований,

x_{ij}, y_{ij} - абсцисса и ордината положения ударника,

i - номер вторичной планшайбы,

j - номер ударника на вторичной планшайбе,

R - радиус переносного движения,

r - радиус относительного движения,

r_a - радиус лунки,

n_i - частота вращения оснований,

φ_i - угол, определяющий начальное положение ударников.

Зададимся необходимыми исходными значениями геометрических параметров исследуемой системы: $R=1\text{м}$, $r=0,4\text{м}$, $r_a=0,05\text{м}$ и необходимыми начальными значениями частот вращения n_i и частоты ударов ударников:

$$n_1 = 1 \frac{\text{уд.}}{\text{с}}, n_2 = 4 \frac{\text{уд.}}{\text{с}}, n_3 = 4 \frac{\text{уд.}}{\text{с}}, n_4 = 4 \frac{\text{уд.}}{\text{с}}, n_{\text{уд.}} = 60 \frac{\text{уд.}}{\text{мин}}.$$

Стоит отметить, что эти значения не были получены в результате инженерно-конструкторских изысканий и приведены для того, чтобы оценить эффективность разрабатываемой проходческой машины.

3. Решение задачи оптимизации траекторий ударных инструментов

Картина распределения лунок по груди забоя показана на рис. 2.

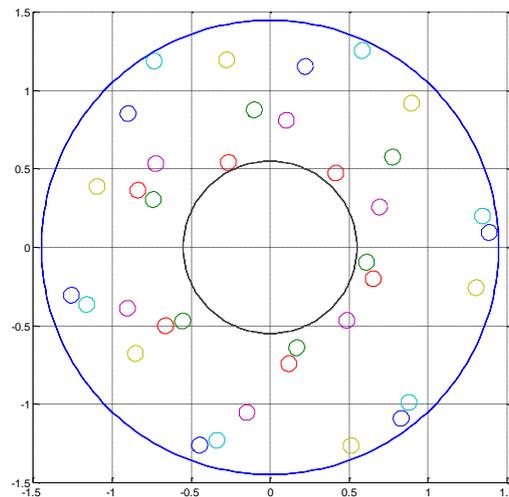


Рис. 2. Распределение лунок по груди забоя

Для решения задачи об оптимальном распределении лунок по поверхности забоя в зависимости от выбранных угловых скоростей вращения первичного и вторичных оснований ω_i , а также частоты ударов ударников n были выбраны следующие целевые функции:

$$f(n, n_1, n_2, n_3, n_4) = \sum_{i=1}^N S_i ,$$

$$f(n, n_1, n_2, n_3, n_4) = N ,$$

где N – число лунок

где S_i – площадь перекрытия двух лунок, которая определяется по формулам:

$$D = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} ,$$

$$F = 2a \cos\left(\frac{D}{2r_l}\right) ,$$

$$S_i = r_l^2 \cdot F \cdot (1 - \sin(F)) ,$$

где D – расстояние между двумя окружностями,

x_i, x_j, y_i, y_j – абсциссы и ординаты двух пересекающихся окружностей.

Таким образом, задача сводится к нахождению параметров n и ω_i , при которых функции (1) и (2) будут минимальными. Также необходимо учесть естественные ограничения накладываемые на $n_{уд}$ и n_i . Частоты ударов не должны быть слишком большими (свыше 40 уд/мин) или слишком маленькими (менее 0,5 уд/мин).

$$n_{уд} \in [20; 200], \quad n_1 \in [0,5; 5], \quad n_2 \in [2; 40], \quad n_3 \in [2; 40], \quad n_4 \in [2; 40].$$

Обычно, общий подход к решению оптимизационных задач с ограничениями состоит в замене исходной задачи с ограничениями на другую более легко реализуемую задачу без ограничений. Такая задача в дальнейшем используется как базис для итерационных процессов [3, 4]. В настоящее время такой подход считается относительно малоэффективным и был заменен на методы решения, основанными на формулировке и последующем решении так называемых уравнений Куна-Такера [5, 12]. В которых вводятся дополнительные предположения о характере ограничений и понятии оптимальности для задачи оптимизации при наличии ограничений. Если поставленная задача является так называемой задачей выпуклого программирования, то эти уравнения являются необходимыми и достаточными условиями для общей постановки задачи [7].

Метод последовательного линейного приближения (SQP) был выбран для решения поставленной задачи, т.к. является одним из отлично зарекомендовавших себя современных методов в области нелинейного программирования. Шитковский [6] успешно реализовал и провел тестовые расчеты по данной версии оптимизации и получил всестороннее превосходство, по сравнению с другими тестовыми методами, в части эффективности, точности и процента успешного решения задачи для большого числа тестовых задач. Основанный на работах Бигса [1] и Хана [2] данный метод позволяет достаточно точно имитировать метод Ньютона для оптимизации при наличии ограничений, как это сделано для оптимизации без наличия ограничений.

4. Результаты

Реализация этого метода была проведена при помощи пакета программ Matlab и его модуля Optimization toolbox [12]. Проведенная серия вычислений подтвердила применимость выбранного метода оптимизации к поставленной задаче и его высокую эффективность.

При заданных ранее исходных параметрах были получены следующие результаты для частоты ударов $n_{уд}$ и ω_i :

Таблица 1. Результаты решения оптимизационной задачи

Оптимизируемый параметр,	$n_{уд.}$	n_1	n_2	n_3	n_4
Значения, 1/мин	80	1.1	10	9.5	9.5

Соответствующая картина распределения лунок приведена на рисунке 3.

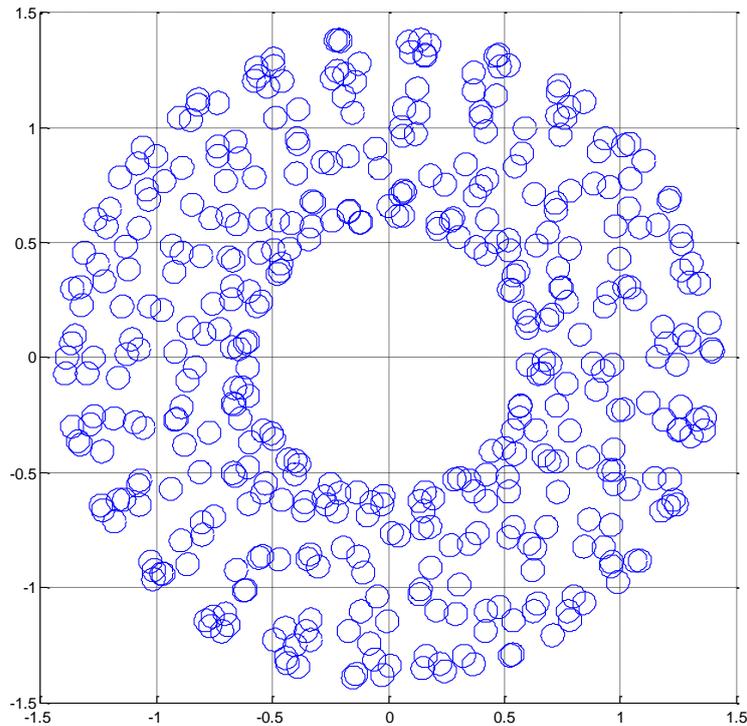


Рис. 3. Распределения лунок на поверхности забоя в результате решения оптимизационной задачи

Заключение

В результате проведенных исследований была обоснована необходимость в разработке компактных проходческих комбайнов, основанных на разрушении скальных пород ударно-механическим способом. Этот способ позволяет точно и, в тоже время, равномерно высвободить энергию удара по всей поверхности забоя. Для равномерности распределения нагрузки на обрабатываемую поверхность были рассчитаны оптимальные скорости вращения исполнительных органов комбайна (метод SQP).

Рассмотренную задачу можно и нужно расширять, т.к. необходимо привязываться к реальным физическим условиям, конструкционным параметрам ударно-скалывающего инструмента, учитывать мощность удара и связанную с ней площадь лунки и т.д. Представленная статья

является отправной точкой для дальнейшей разработки проходческих комбайнов с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом.

Библиографический список

1. Biggs M. C. Towards Global Optimization (L.C.W. Dixon and G.P. Szergo, eds.). – 1975. – pp. 341-349.
2. Han S. P. Optimization Theory and Applications – 1977. – Т. 22. – 297 p.
3. Kwon R. H. Introduction to Linear Optimization and Extensions with MATLAB®. - Boca-Raton: CRC Press, 2014. – 337 p.
4. Nocedal J., Wright S. Numerical Optimization. – New-York: Springer Science & Business Media, 2006. – 664 p.
5. Pillo G., Ginnessi F. Nonlinear Optimization and Applications. - New-York: Springer Science & Business Media, 2013. – 367 с.
6. Schittkowski K. Annals of Operations Research, Vol. 5. 1985. – pp. 485-500.
7. Бате К. Ю. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – Москва: Стройиздат, 1982. – 448 с.
8. Васильченко В. А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах / Горная промышленность №2. 2006. – С. 111-117.
9. Кантович Л. И. Горные машины. – Москва: Недра, 1989. – 304 с.
10. Пивень Г. Г. Из опыта создания гидравлических ударных и вибрационных машин в Карагандинском регионе. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – С. 22-24
11. Способ проведения горной выработки. Заявка #2015113260/03(020727) от 09.04.2015. / заявитель Ушаков Л.С. RU.
12. Трифонов А. Г. / Сайт "Экспонента". – URL: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/ (дата обращения: 08.12.2015).
13. Ушаков Л. С. Гидравлические ударные механизмы: опыт расчета и проектирования. – Москва: Palmarium academic publishing, 2013. – 157 с.
14. Ушаков Л. С. Перспективы применения гидроударников в качестве рабочих органов технологических машин / Л. С. Ушаков, Ю. Н. Каманин, Н. Д. Фабричный // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – №4. – С. 91-93.
15. Ушаков Л. С. Гидравлические машины ударного действия / Л. С. Ушаков, Ю. Е. Котылев, В. А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 2000. – 416 с.

References

1. Biggs M. C. Towards Global Optimization. 1975, vol. 5, pp. 341–349.
2. Han S. P. *Mathematical Programming*, 1976, vol. 11, pp. 243–282.
3. Kwon R. H. Introduction to Linear Optimization and Extensions with MATLAB. Boca-Raton, 2014. 337 p.
4. Nocedal J. & Wright S. Numerical Optimization. New-York, 2006. 664 p.
5. Pillo G. & Ginsburgh F. Nonlinear Optimization and Applications. New-York, 2013. 367 p.
6. Schittkowski K. *Annals of Operations Research*, 1985, vol. 5, pp. 485–500.
7. Bate K. Yu. Chislennyye metody analiza i metod konechnykh ehlementov [Numerical methods and finite element method]. Moskow, 1982. 448 p.
8. Vasil'chenko V. A. *Gornaya promyshlennost' – Mining*, 2006, no. 2, pp. 111–117.
9. Kantovich L. I. Gornye mashiny [Mining machinery]. Moskow, 1989. 304 p.
10. Piven' G. G. Iz opyta sozdaniya gidravlicheskih udarnykh i vibracionnykh mashin v Karagandinskom regione [From the experience of the creation of the Karaganda region of hydraulic shock and vibration machines]. Orel, 2000, pp. 22–24.
11. Sposob provedeniya gornoj vyrabotki (The method of excavation). Request #2015113260/03(020727) from 09/04/2015 applicant Ushakov L. S. RU.
12. Sajt “EhkspONENTA” [Site “Exponenta”]. URL: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/.
13. Ushakov L. S. Gidravlicheskie udarnye mekhanizmy: opyt rascheta i proektirovaniya [Hydraulic percussion mechanisms: experience in calculating and designing]. Moskow, 2013. 157 p.
14. Ushakov L. S., Kamanin Yu. N. & Fabrichnyj N. D. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin - World of transport and technological machines*, 2014, no. 4, pp. 91–93.
15. Ushakov L. S., Kotylev Yu. E. & Kravchenko V. A. Gidravlicheskie mashiny udarnogo dejstviya [Hydraulic machines Impact]. Moskow, 2000. 416 p.

Сведения об авторах:

КАМАНИН Юрий Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины» Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева
E-mail: kamanichi22@mail.ru

УШАКОВ Леонид Семенович, д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины» Орловского государственного университета имени И. С. Тургенева
E-mail: oushakov2007@mail.ru

Information of authors:

KAMANIN YUrij Nikolaevich, Cand. Sc. (Tech.), associate professor of I. S. Turgenev OSU Lifting and Transport, Construction and Road Machines Department

E-mail: kamanchi22@mail.ru

USHAKOV Leonid Semenovich, Doct. Sc. (Tech.), professor of I. S. Turgenev OSU Lifting and Transport, Construction and Road Machines Department

E-mail: oushakov2007@mail.ru

УДК 537.638:536.48

Ю. Ф. Антонов, А. С. Краснов, Т. С. Зименкова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОХЛАЖДЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Дата поступления 12.12.2016

Решение о публикации 16.12.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Одними из наиболее актуальных задач современных транспортных систем с точки зрения роста объемов и повышения качества, грузовых и пассажирских перевозок во всем мире, на сегодняшний день являются повышение скорости перевозок и снижение затрат энергетических ресурсов, связанных с этими перевозками. Данные задачи могут быть решены с помощью внедрения высокоскоростных, в частности магнитолевитационных транспортных систем. В данной статье приводятся описание и возможные способы применения систем охлаждения сверхпроводниковых материалов при разработке перспективных конструкций магнитолевитационных транспортных систем. Актуальность проведенных исследований подтверждена мировым опытом использования высокотемпературных сверхпроводниковых материалов при использовании магнитолевитационных технологий в различных отраслях науки и техники.

Целью данной статьи является обобщение существующих на сегодняшний день тенденций развития систем охлаждения низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводниковых устройств. Определение ключевых, стратегических направлений развития технологий в данной области, а также обобщение эксплуатационных особенностей систем с применением низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводниковых устройств.

В рассматриваемой статье использованы аналитические **методы** исследования.

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, позволят создать базу для проведения дальнейших исследований, как в области производства сверхпроводниковых материалов, так и в области разработки высокоэффективных систем охлаждения.

Практическая значимость полученных результатов заключается в существенном упрощении проведения дальнейших исследований как в области развития сверхпроводниковой техники и акцентировать внимание на наиболее существенных нерешенных задачах в этой области.

Заключение: в статье рассмотрены актуальные вопросы применения систем криостатирования систем с применением НТСП и ВТСП. Рассмотрены существующие на сегодняшний день конструкции систем охлаждения, а также отражены основные перспективные направления развития данной области.

Ключевые слова: магнитолевитационные транспортные системы, сверхпроводники, низкотемпературные сверхпроводники, высокотемпературные сверхпроводники, криостат, криокуллер.

Yury F. Antonov, Anton S. Krasnov, Tatiana S. Zimenkova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

COOLING THE HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR MATERIALS MAGNITOLEVITATIONNYH SYSTEMS

Abstract: One of the most pressing problems of modern transport systems in terms of volume growth and improve the quality of freight and passenger traffic in the world of today are increasing the traffic speed and decrease energy costs associated with these services. These problems can be solved through the introduction of high-speed, in particular maglev transport systems. This article provides a description and possible applications of cooling superconducting materials in the development of promising structures maglev transport systems. The relevance of the research world experience in the use of high-temperature superconducting materials using maglev technologies in various fields of science and technology.

The purpose of this article is to summarize the currently existing cooling systems of tendencies of development of low-temperature and high-temperature superconducting devices. Identify the key strategic directions of development of technologies in this field, as well as the generalization of performance characteristics of systems with low and high temperature superconducting devices.

Results: In this article of the used analytical methods. The results obtained in the course of the research, will create the basis for further research in the field of manufacture of superconducting materials and in the development of high-performance cooling systems. The practical significance of the results is the significant simplification of further research in the field of superconducting technology and focus on the most important unsolved problems in this area.

Conclusions: The article deals with current issues of application systems cryostatting LTS and HTS systems using high-temperature superconductors. The existing to date design of cooling systems, as well as highlights of the promising directions of development of this area.

Keywords: maglev transport systems, superconductors, low-temperature superconductors, high- temperature superconductors, kriokooller.

Введение

Наиболее перспективным направлением при разработке магнитолевитационных транспортных систем, является использование сверхпроводниковых материалов. Использование таких материалов сопряжено с необходимостью постоянного поддержания стабильных низких температур в различных условиях эксплуатации, в связи с выделением большого количества тепловой энергии при эксплуатации устройств на базе сверхпроводников. Проблема влияния температуры заключается в снижении критического тока сверхпроводимости даже при незначительном увеличении температуры материала, а так же неустойчивость свойств устройств, при изменении его фактической

температуры вне критического диапазона. Ниже описаны особенности условий эксплуатации низкотемпературных сверхпроводников (НТСП) и высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), а так же возможные способы обеспечения стабильных низких температур при работе данных систем.

1. Особенности температурных режимов работы сверхпроводников

Подробное описание как НТСП и ВТСП приведено в [1]. Основным отличием данных материалов является температурный диапазон их эксплуатации и жесткие требования, как по объему, так и по скорости отводимых избытков тепловой энергии, что в свою очередь влечет за собой высокие требования, предъявляемые к системам охлаждения таких устройств.

В процессе эксплуатации и при разработке устройств с применением сверхпроводников рассматриваются следующие критерии, связанные с обеспечением температурных режимов:

1. Динамическая стабилизация, нарушение которой может приводить к существенным локальным перегревам. В данном случае задача системы охлаждения сводится к обеспечению превышения скорости тепловой диффузии над скоростью магнитной диффузии. Это достигается комплексным решением – применением систем криостатирования и конструктивными особенностями сверхпроводников.

2. Стационарная стабилизация заключается, в том числе в своевременном отводе тепловой энергии из нормальной зоны в криогенную среду. Сложность данных систем заключается в недопущении «кризиса кипения» криоагента, так как это в разы снижает интенсивность теплообмена.

3. Недопущение эффекта деградации – эффекта снижения критического тока магнитной системы по отношению к критическому току «короткого образца». Этот эффект может возникать при недостаточном теплоотводе, так как при этом локально возникшая нормальная зона может распространяться по всей обмотке.

Основным отличием НТСП от ВТСП является температура возникновения критического тока. В связи с этим в большинстве систем охлаждения НТСП в качестве криогенных жидкостей используется жидкий гелий. Использование данной криогенной жидкости позволяет обеспечить температурный режим порядка 4-5 К. Однако эти системы сложны в эксплуатации, небезопасны и требуют огромных эксплуатационных расходов. Решением задачи, связанной с повышением эффективности использования сверхпроводников при разработке современных магнитолевитационных транспортных систем может быть переход от

НТСП к ВТСП. Применение ВТСП позволит повысить рабочие температуры до азотных (77 К). Применение в качестве хладагента жидкого азота имеет ряд неоспоримых преимуществ. Сравнительный анализ характеристик жидкого гелия и жидкого азота приведен в таблице 1.

Таблица 1. Теплофизические свойства хладагентов

п/п	Параметр	Ед. изм.	Жидкий гелий	Жидкий азот
	Скрытая теплота парообразования	МДж/м ³	2,58	161
	Тепловой поток	кВт/м ²	9...10	115...180
	Допустимый перепад температур в криогенной зоне	К	0,5...1,0	6...18
	Коэффициент затрат мощности на компенсацию притока тепловой энергии в криогенную зону	-	450...480	8...12

Основные требования по температурным режимам к современным обмоточным материалам из ВТСП приведены на рисунке 1.

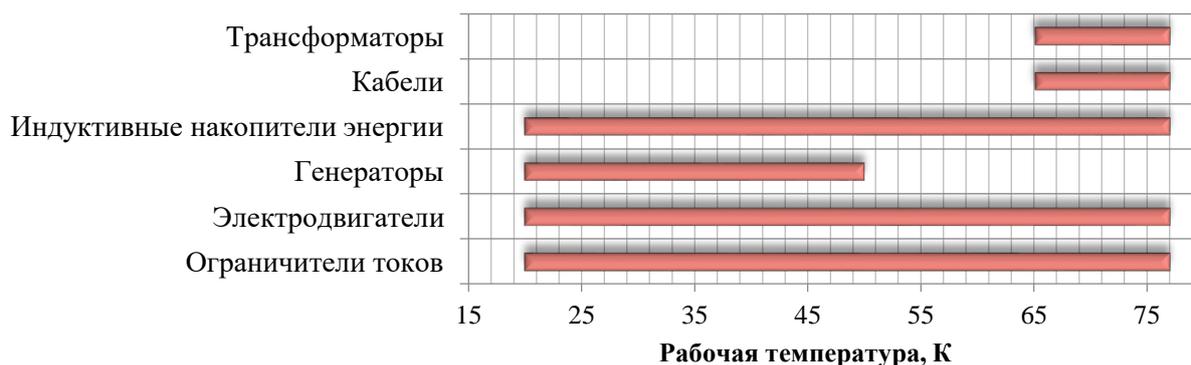


Рис. 1. Температурные диапазоны обмоточных материалов из ВТСП

Как видно из графика, приведенного на рисунке 1 температурные диапазоны большинства устройств с применением современных высокотемпературных материалов укладываются в азотный диапазон.

Таким образом, наиболее оптимальные параметры работы систем с применением ВТСП могут быть достигнуты применением систем охлаждения на основе жидкого азота.

2. Способы охлаждения ВТСП

Процесс создания сверхпроводящих магнитных систем является сложной и многоуровневой задачей. Этот процесс охватывает ряд смежных областей, таких как изготовление сверхпроводящих материалов, разработка конструкции криогенных систем охлаждения, выбор хладагента

и др. От правильного выбора обмоточного материала для сверхпроводниковой магнитной системы - катушка, секция или модуль любой формы и назначения, зависят: конструкция и технология намотки ее модулей, конструкция криостата, размещение и тип электрических соединений модулей, способы их крепления, межвитковая и корпусная изоляция, криогенное охлаждение, устройства ввода тока, диагностики и защиты магнитной системы - в конечном итоге эффективная и надежная работа сверхпроводникового комплекса.

Процесс получения жидкого гелия как криоагента для систем охлаждения НТСП довольно сложен и дорогостоящий. Общая схема установки по производству жидкого гелия приведена на рис. 2. Производство жидкого гелия в промышленных масштабах на сегодняшний день довольно затруднительно. Преимущества использования жидкого гелия - возможность получения низких температур порядка 4 - 5 К. К недостаткам можно отнести: Сложность и дороговизну процесса получения жидкого гелия, а также сложность и дороговизна изготовления и эксплуатации систем охлаждения.



Рис. 2. Принципиальная схема получения жидкого гелия
1 – Ожижитель; 2 – Компрессор; 3 – Маслоотделитель; 4 – Ресивер; 5 - Контроллер давления; 6,7 – Дьюары; 8 – Осушитель; 9 -Главный контроллер; 10 - Дожимающий компрессор; 11 - Рампа с баллонами; 12 - Мягкий газгольдер газообразного гелия

Процесс получения жидкого азота по сравнению с процессом получения жидкого гелия более прост (рис. 3) и находит промышленное применение в различных областях техники. Кроме того, в состав атмосферного воздуха входит 70% азота, что делает его более интересным с точки зрения стоимости.

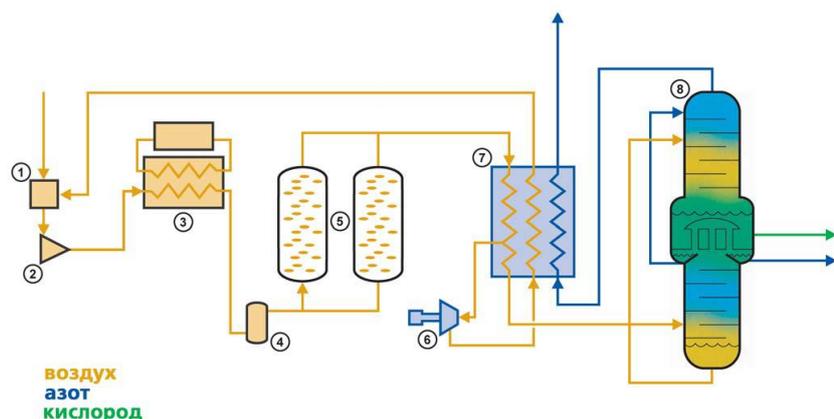


Рис. 3. Принципиальная схема получения жидкого азота

- 1 - Вход в воздушный фильтр; 2 - Воздушный компрессор; 3 - Система охлаждения; 4 - Сепаратор воздух/вода; 5 - Система очистки воздуха; 6 - Турбодетандер; 7 - Главный теплообменник; 8 - Колонна дистилляции

Наиболее интересными и перспективными для дальнейших исследований и усовершенствования конструкции являются многоконтурные системы криогенного обеспечения высокотемпературных сверхпроводниковых устройств. Схема такого устройства показана на рис.4.

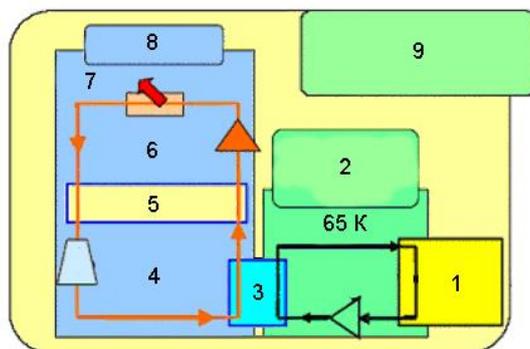


Рис. 4. Схема двухконтурного криогенного обеспечения высокотемпературных сверхпроводниковых устройств

- 1 – сверхпроводниковое устройство; 2 – система циркуляции переохлажденного жидкого азота; 3 – теплообменник; 4 – турбодетандер; 5 – главный теплообменник; 6 – компрессор; 7 – отвод тепла; 8 – неоновый криокулер; 9 – пульт управления

Особенностью данных систем относительно применения в Маглев системах является автономность и возможность длительной эксплуатации без дозаправки хладагента. Такие системы могут быть изготовлены в модульном исполнении, что конструктивно облегчает установку оборудования на подвижной состав.

Наиболее распространенные марки криокуллеров, которые могут использоваться в системах Маглев, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Потребные марки криокуллеров

Марка криокуллера	Рабочая температура	Холодо-производ-ть	Потребляема я мощность
Рабочая температура 4,2 К			
Cryomech PT415	4,2/45 К	1,5/40 Вт	10,5 кВт
SHI Cryogenics RDK-415	4,2/50 К	1,5/35 Вт	7,2 кВт
Рабочая температура 20-30 К			
Leybold Coldpower 140 T	20 К	20 Вт	6,2 кВт
Leybold Coolpower 10 MD	20/80 К	18/110 Вт	6,5 кВт
Striling Cryogenics LPC-1T RL (LPC-8T RL)	26 К	105 Вт (820 Вт)	11 кВт (90 кВт)
Striling Cryogenics GPC-1 (GPC-4)	20/80 К	50/400 Вт (200/1600 Вт)	11 кВт (45 кВт)
Рабочая температура 77 К			
Cryomech AL600	80 К	620 Вт	15,5 кВт
Q-drive 2S362K	77 К	1000 Вт	21 кВт
Striling Cryogenics LPC-1 FF (LPC-8 FF)	77 К	750 Вт (7400 Вт)	12 кВт (98 кВт)
Striling Cryogenics LPC-1 RL (LPC-8 RL)	77 К	1000 Вт (8000 Вт)	11 кВт (88 кВт)

3. Перспективные направления разработки систем ВТСП

Кроме того, важной задачей развития криосистем является разработка эффективной системы охлаждения токовыводов (рис. 5).

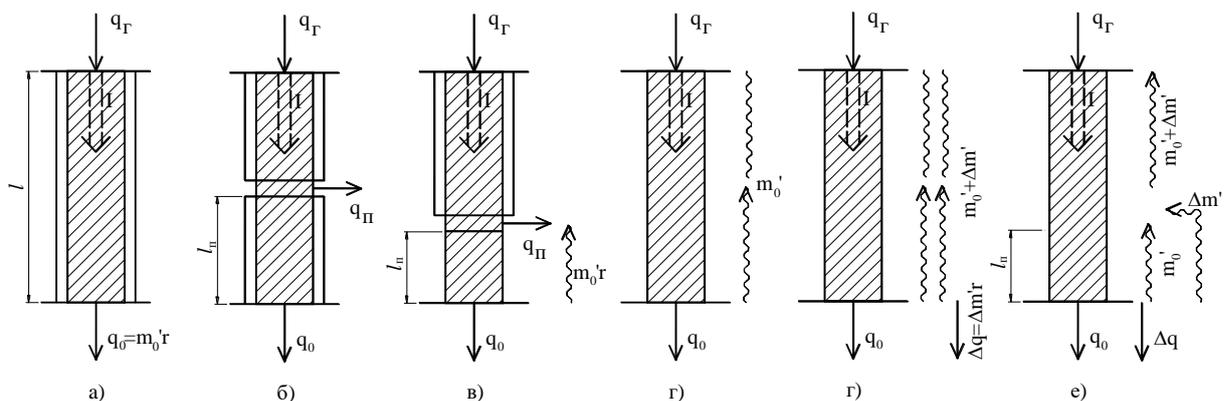


Рис. 5. Схемы охлаждения токовыводов

Данная задача является немало важной, так как по токовыводам осуществляется большой приток тепловой энергии из внешней среды. Критериями тепловой оптимизации являются: наименьший теплоприток по токовыводу в криогенную зону; минимальные энергетические затраты на охлаждение токовывода. Перспективные направления исследований: оптимальные температурный профиль, тепловой поток, расход криоагента по длине токовывода.

В качестве критериев тепловой оптимизации тоководов можно принять следующие:

- наименьший теплоприток по тоководу в криогенную зону;
- минимальные энергетические затраты на охлаждение токовода.

В настоящее время наиболее актуальными и перспективными являются следующие направления модернизации и оптимизации систем охлаждения сверхпроводниковых материалов и устройств:

1. Снижение массогабаритных характеристик систем криостатирования;
2. Снижение стоимости производства жидкого гелия и жидкого азота;
3. Снижение энергозатрат в системах охлаждения ВТСП;
4. Разработка комплексных систем охлаждения и производства хладагентов, а также создание автономных систем криостатирования.

Заключение

В статье рассмотрены актуальные вопросы применения систем криостатирования систем с применением НТСП и ВТСП. Рассмотрены существующие на сегодняшний день конструкции систем охлаждения, а также отражены основные перспективные направления развития данной области.

Библиографический список

1. Магнитолевитационная транспортная технология / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев / Под ред. В. А. Гапановича. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 476 с.
2. Бахвалов Ю. А. Транспорт с магнитным подвесом / Ю. А. Бахвалов, В. И. Бочаров, В. А. Винокуров В. Д. Нагорский. М.: Машиностроение. – 1991. – 320 с.
3. Беляков В. П. Газоохлаждаемые тоководы криоэнергетических установок / В. П. Беляков, С. П. Горбачев, В. К. Матющенко // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1982. – № 3. – С. 106-113.
4. Брехна Г. Сверхпроводящие машины и устройства / Г. Брехна М.: Мир. – 1976. – 704 с.
5. Бродянский В. М. Энергетические затраты на компенсацию теплопритоков по токовым сверхпроводящим устройствам / В. М. Бродянский, Л. И. Ройзен, Р. И. Абрамов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1971. – № 6. – С. 126-128.
6. Высоцкий В. С. Тепловые свойства и критические токи сверхпроводящих ключей-перемычек / В. С. Высоцкий, А. А. Конюхов // Тр. ФИАН. – 1984. – Т. 150. – С. 57-69.
7. Глебов И. А. Проблема ввода тока в сверхпроводниковые

устройства / И. А. Глебов, В. Н. Шахтарин, Ю. Ф. Антонов. Л.: Наука. – 1985. – 208 с.

8. Зенкевич В. Б. Сверхпроводники в судовой технике / В. Б. Зенкевич, Е. Я. Казовский, М. Г. Кремлев, П. П. Орлов, В. В. Сычев, М. И. Федосов, В. Н. Шахтарин. Л.: «Судостроение», 1971. – 256 с.

9. Ким К. К. Системы электродвижения с использованием магнитного подвеса и сверхпроводимости / К. К. Ким. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» – 2007. – 360 с.

10. Ковалев Л. К. Магнитные подвесы с использованием объемных ВТСП элементов для перспективных систем высокоскоростного наземного транспорта / Л. К. Ковалев, С. М.-А. Конев, В. Н. Полтавец, М. В. Гончаров, Р. И. Ильясов // Электричество. – 2007. – № 6.

11. Ковалев Л. К. Электромеханические преобразователи на основе массивных высокотемпературных сверхпроводников / Л. К. Ковалев, К. Л. Ковалев, С. М.-А. Конев, В. Т. Пенкин, В. Н. Полтавец. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2008. – 440 с.

References

1. Antonov Yu. F. & Zaytsev A. A. Magnitolevitatsionnaya transportnaya tekhnologiya [Magnetic Levitation Transport Technology]. Moscow, 2014. 476 p.

2. Bahvalov Yu. A., Bocharov V. I., Vinokurov V. A. & Nagorskij V. D. Transport s magnitnym podvesom [Vehicles with Magnetic Suspension]. Moscow, 1991. 320 p.

3. Belyakov V. P., Gorbachev S. P. & Matyushchenkov V. K. *Izv. AN SSSR. Ehnergetika i transport – Math. USSR Academy of Sciences. Energy and Transport*, 1982, no. 3, pp. 106–113.

4. Brekhna G. Sverhprovodyashchie mashiny i ustrojstva [Superconducting Machines and Devices]. Moscow, 1976. 704 pp.

5. Brodyanskij V. M., Rojzen L. I. & Abramov R. I. *Izv. AN SSSR. Ehnergetika i transport – Math. USSR Academy of Sciences. Energy and transport*, 1971, no. 6, pp. 126–128.

6. Vysockij V. S. & Konyuhov A. A. *Tr. FIAN – Tr. LPI*, 1984, vol. 150, pp. 57–69.

7. Glebov I. A., Shahtarin V. N. & Antonov Yu. F. Problema vvoda toka v sverhprovodnikovye ustrojstva [Current Input Problem in Superconducting Devices]. Leningrad, 1985. 208 p.

8. Zenkevich V. B., Kazovskij E. YaA., Kremlev M. G., Orlov P. P., Sychev V. V., Fedosov M. I. & Shahtarin V. N. Sverhprovodniki v sudovoj tekhnike [Superconductors in Shipbuilding]. Leningrad, 1971. 256 p.

9. Kim K. K. Sistemy ehlektrodvizheniya s ispol'zovaniem magnitnogo podvesa i sverhprovodimosti [Propulsion Systems with Magnetic Suspension

and Superconductivity]. Moscow, 2007. 360 p.

10. Kovalev L. K., Konev S. M.-A., Poltavec V. N., Goncharov M. V. & П'yasov R. I. *Ehlektrichestvo – Electricity*, 2007, no. 6.

11. Kovalev L. K., Kovalev K. L., Konev S. M.-A., Penkin V. T. & Poltavec V. N. *Ehlektromekhanicheskie preobrazovateli na osnove massivnyh vysokotemperaturnykh sverhprovodnikov [Electromechanical Converters Based on the Massive High-Temperature Superconductors]*. Moscow, 2008. 440 p.

Сведения об авторах:

АНТОНОВ Юрий Федорович, профессор кафедры «Электромеханические комплексы и системы», заведующий НИЛ «МЭТС» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

КРАСНОВ Антон Сергеевич, преподаватель кафедры «Теплотехника» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com

ЗИМЕНКОВА Татьяна Сергеевна, инженер НИЛ «МЭТС» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com

Information of authors:

Yury F. ANTONOV, professor of the department "Electromechanical systems and systems", Head of the Laboratory "MATS" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: yuri-anto@yandex.ru

Anton S. KRASNOV, lecturer in "Heat" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: anton.s.krasnov@gmail.com

Tatiana S. ZIMENKOVA, Engineer Head of the Laboratory "MATS" Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: tatyana.zimenkova@gmail.com

Раздел 3. БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.3:331.4513+629.439.027.34

С. М. Аполлонский

ООО «Центр электромеханотроники»

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Дата поступления 12.05.2016

Решение о публикации 14.12.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Возрастающее внимание мировой общественности к проблемам безопасности приводит к необходимости более детального изучения всех аспектов безопасности, их определения и классификации, чтобы сформировать более корректные законодательные нормативные акты, содержащие положения, обязательные при разработке и эксплуатации высокотехнологичных производств. Результат такого изучения - появление новых аспектов безопасности.

Одним из них следует считать аспект, вводимый понятием "функциональная безопасность". Это понятие уже появилось в международных нормативных документах, регламентирующих положения, выполнение которых рекомендуется при создании и эксплуатации управляющих систем для автоматизации высокотехнологичных производств.

Понятие «функциональная безопасность» при введении в отечественную практику требует применения этого термина с соответственно аргументированным определением в системе отечественных нормативных документов вместе с необходимым набором нормативных положений, регламентирующих обеспечение его практической реализации.

В докладе рассмотрены вопросы функциональной безопасности и нормативно-правового регулирования в области электромагнитной совместимости технических средств на электрифицированном железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитная совместимость электрооборудования, электромагнитная безопасность технических средств, функциональная безопасность на транспорте, нормативно-правовые документы в области функциональной безопасности на электрифицированном железнодорожном транспорте.

S. M. Apollonskiy

Ltd. "Center of elektromehanotroniki"

FUNCTIONAL SAFETY INTO ELECTRIFIED RAILWAYS

Abstract: Increasing global attention to security issues resulting in the need for more detailed study of all aspects of safety, their definition and classification, to form a more

correct legal regulations contain provisions required in the design and operation of high-tech industries. The result of this study - the emergence of new aspects of security.

One aspect to be considered, introduced the concept of "functional safety". This concept has already appeared in the international regulations governing the status, the implementation of which is recommended for the creation and operation of control systems for the automation of high-tech industries.

The concept of "functional safety" when administered in the Patriotic-governmental practice requires the use of the term, respectively reasoned determination of the system of domestic regulations with the necessary set of regulations governing the provision of its practical implementation.

The report addressed issues of functional safety and regulatory management in the field of electromagnetic compatibility of technical means on the electrified railways.

Key words: electromagnetic field, electromagnetic compatibility of electrical equipment, electromagnetic security hardware, functional transportation security, legal documents in the field of functional safety on electrified railways.

1. Введение

Современный электрифицированный железнодорожный транспорт представляет собой многоуровневую структуру, включающую мощные источники и приемники (рецепторы) электрической энергии; распределительные устройства с разветвленными воздушными линиями электропередачи или кабельными трассами; защитную и коммутирующую аппаратуру; системы управления и коммутации. Развитие таких энергетических комплексов (ЭК) связано с усложнением системы их автоматизации, с увеличением доли высокочувствительных элементов автоматики и микропроцессорной техники. Усложнение системы, в свою очередь, приводит к увеличению числа сбоев и отказов элементов, к снижению надежности и эффективности ЭК в целом. При проектировании сложных ЭК и систем управления проблема надежности их функционирования выдвигается на первое место [1, 2].

Повышение надежности отдельных элементов или подсистем ЭК, введение структурной и временной избыточности, использование взаимозаменяемости и восстанавливаемости элементов, а также иных методов надежности сложной системы, позволяют гарантировать отказоустойчивость системы, т. е. способность правильно функционировать при отказах или сбоях элементов.

При выполнении функций управления, контроля и защиты на электрифицированной железной дороге в течение длительного времени применялись релейные защиты.

Функциональным назначением релейной защиты представляется купирование повреждения, предотвращение или, по возможности, сокращение убытка при внезапном возникновении повреждения или ненормальных, аварийных режимов работы электрических и

энергетических устройств выработки, преобразования, передачи и перераспределения электрической энергии, предоставление устойчивости и надежности систем электроснабжения. Одновременно с устройствами автоматического повторного включения и автоматического включения резерва релейная защита основывает систему противоаварийной автоматики, то есть автоматики управления в ненормальных аварийных режимах.

С целью улучшения функциональной безопасности на объектах электрифицированной железной дороги релейная защита заменяется на микропроцессорную (МУРЗ).

Применение и использование микропроцессоров и микроэлектроники в большей степени повышает оперативность релейной защиты и автоматики. Раскрывает перспективы для передачи и распределения функций релейной защиты. Создает возможность управлять вычислительными машинами, управляющими устройствами электроснабжения в рабочих и аварийных режимах.

В связи с этим важное значение обретает исследование алгоритма программ, которым обязана подчиняться релейная защита вне зависимости от той элементной базы, на основании которой она изготовлена.

Применение МУРЗ и микро-ЭВМ для выполнения функций релейной защиты обусловлено их большими функциональными возможностями, обеспечивающими создание защиты нового поколения любой сложности и высокой надежности.

МУРЗ как интеллектуальный терминал выполняет следующие функции защит - защита автоматики и управления, сигнализация, контроль параметров нагрузки, регистрация событий и аварийных процессов, самодиагностика, связь и сервисное обслуживание.

Для обеспечения гарантируемой отказоустойчивости ЭК в последнее время все чаще начинают учитывать изменения ее параметров и функций из-за взаимовлияния отдельных элементов в рамках проблемы электромагнитной безопасности (ЭМБ).

2. Электромагнитная безопасность

ЭМБ можно рассматривать как способность устройства, использующего электромагнитные явления, удовлетворительно функционировать в данном электромагнитном окружении, не создавая недопустимых помех этому окружению, а также стойкость к мощным электромагнитным излучениям от молний, ядерных взрывов и мощных внутрисистемных разрядных процессов. ЭМБ представляет собой более широкое понятие, чем электромагнитная совместимость (ЭМС), которая используется во многих публикациях (см., например, [3,5]).

Состояние ЭМС, как следует из этого определения, может быть достигнуто при помощи правильного конструирования, размещения, надлежащего управления, а также с учетом воздействий внешней среды.

В настоящее время все большее число высокочувствительных электромагнитных элементов для своего надежного функционирования требуют решения тех или иных задач ЭМС [3]. При увеличении доли высокочувствительных элементов автоматики, измерительных и контролирующих комплексов, информационных линий и др. в ЭК область ЭМС существенно расширяется. В большем объеме используются полупроводниковые преобразователи, микросхемы, микропроцессоры, выступающие в роли рецепторов, на которые воздействуют ЭМП помех. Кроме того, из-за наличия источников мощных ЭМП даже традиционные элементы установки, такие как коммутирующая аппаратура, устройства контроля и защиты, автоматические пульты и др., допускают сбои, ложные срабатывания, выходят из строя. Так, мощные импульсные ЭМП вызывают перенапряжения в электрических цепях системы, приводят к повреждениям полупроводниковых элементов, к коротким замыканиям (К.З.). Помехи, распространяющиеся по цепи и вызванные переходными процессами при переключениях в сетях питания, воздействуют на цифровые системы, на информационные линии. Наличие низкочастотных электромагнитных процессов в общих сетях (гармонических составляющих питающего напряжения, перерывов питания и т. д.), а также нелинейных нагрузок, существенно расширяет проблематику ЭМС, вовлекая в нее все виды источников и приемников электроэнергии. Уменьшается надежность, живучесть и безопасность ЭЭС в целом [4].

Обеспечение совместной работы различных видов электрооборудования (ЭО) в ограниченных по объему помещениях в настоящее время приобретают первостепенное значение. Вопросы ЭМС в их современном понимании до последнего времени ставились и решались как второстепенные в рамках проблемы помехоустойчивости. Только в последнее десятилетие им стали уделять значительное внимание, когда возросла потребность в снижении ЭМП низкой частоты. Эта потребность вызвана двумя причинами: обнаружением значительного рассеяния электроэнергии воздушными линиями электропередачи (в том числе и кабельными трассами) во время коммутации, при наличии значительного состава гармоник и т. д., созданием высокочувствительных приборов и применением маломощных устройств, работающих при низких напряжениях (интегральных схем, магнитометров, приемников инфракрасного излучения). Многочисленные излучатели создают в ограниченных по объему помещениях поля сложной структуры, как по поляризации, так и по амплитудно-фазовым характеристикам.

Задачи ЭМС приходится решать комплексно применительно к сложной системе, характерными признаками которой являются:

- Наличие большого числа взаимно-связанных и взаимодействующих между собой элементов.
- Сложность функции, выполняемой системой и направленной на достижение заданной цели функционирования.
- Возможность разбиения системы на подсистемы, функционирование которых подчинено общей задаче.
- Наличие управления, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации.
- Наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных процессов [3].

На наш взгляд, в ближайшие годы найдет широкое распространение снижение полей помех применением проектирования с учетом минимизации физических полей (например, магнитно-акустическое проектирование), применения специального размещения источников ЭМП помех и т. д., а также с использованием специальных помехоподавляющих устройств [4].

Реализация задач, стоящих перед электроэнергетиками: введение автоматизированных комплексов для управления производством и транспортными средствами, создание гибких автоматизированных приводов и роботов для обеспечения непрерывных технологических операций, поднимет проблему ЭМС разнородного ЭО на качественно новую ступень. Это потребует совершенствования как известных методов обеспечения ЭМС, так и разработки принципиально новых, экономически целесообразных, обладающих необходимой надежностью и достаточной живучестью.

Многие годы единственным подходом к обеспечению ЭМС было фиксирование напряженностей помехонесущих полей и соответствующее изменение характеристик эксплуатируемых электротехнических элементов. Однако, в связи с увеличением насыщенности энергетического помещения разнообразными типами ЭО, стало очевидным, что такой подход неэкономичен и связан со значительным ухудшением эффективности ЭЭС.

Другой подход к решению проблемы ЭМС заключается в строгом нормировании и стандартизации параметров аппаратуры и систем в процессе проектирования и конструирования. Такие требования, с одной стороны, должны обеспечить совместимость разнородного ЭО, а с другой - должны быть практически достижимыми.

Следует отметить, что характеристики внешней среды могут осуществлять:

- Прямое воздействие на ЭМС: ионизирующие излучения; электромагнитные излучения; ЭМП от собственных мощных

источников; ЭМП, возникающие при аварийных ситуациях в (К.З., отключение отдельных подсистем и т.д.).

- Косвенное действие на ЭМС: давление, динамические усилия, влажность, температура, концентрация газовых компонент в воздушной среде.

Проблема ЭМС в ЭК (особенно в автономных), при значительной схожести с проблемой ЭМС в радиотехнических комплексах, имеет и существенное отличие. Здесь исследованию подлежат ЭМП с более широким частотным диапазоном ($f \in [0 \div 10^8]$, Гц), включающим низкочастотные помехи (промышленных частот и ниже); более широкий набор рецепторов: от электронной управляющей, регулирующей и контролирующей аппаратуры до мощных преобразователей - трансформаторов, выпрямителей, инверторов и т.д.; набор режимов работы от холостого хода до короткого замыкания. В связи с отмеченным, ЭМС в автономных ЭК представляется более объемной и требует комплексного подхода к ее решению.

При решении задач ЭМС каждое из устройств ЭК следует рассматривать как элемент некоторой подсистемы, в которой проявляются негативные связи (электрические и магнитные) этого элемента с другими. Такой подход позволяет рассматривать проблему ЭМС в ЭК как общую проблему при исследовании источников и рецепторов ЭМП, выделяя в них соответствующие признаки, которым ранее не придавалось значения. ЭМС представляет собой область науки и техники, развитие которой тесно связано с электротехникой и электроникой.

Миниатюризация оборудования, а также увеличивающаяся сложность, интеграция и взаимодействие элементов приводят к тому, что электронные установки и компоненты становятся более уязвимыми к внешним воздействиям электромагнитной природы. Повышение энерговооруженности технологических процессов, более высокие токи, напряжения и уровни мощности оборудования увеличивают потенциал электромагнитных помех, а интегрирование и взаимопроникновение силовых и информационных компонентов внутрь оборудования приближает источники помех к приборам и устройствам, которые могут быть чувствительны к ним. Поэтому возникает задача обеспечения безопасности, надежности и качества функционирования всех типов оборудования и систем там, где они используются. Если эта задача выполнена, то говорят, что обеспечена ЭМС технических средств с внешней средой, в которой они располагаются. Таким образом, ЭМС касается всех нас. Это относится как к электронным системам управления электрифицированным железнодорожным транспортом, движением самолетов, поездов, морских судов, промышленных установок, так и к функционированию техники, различных устройств в производственных и бытовых помещениях.

Обеспечение ЭМС требует рассматривать два аспекта проблемы: влияние электротехнического и электронного оборудования на системы электропитания и сети электроснабжения и влияние электромагнитных помех различного происхождения на функционирование электронных компонентов систем управления, связи и обработки информации.

Проблема ЭМС имеет не только теоретическое, но и экономическое значение. Например, качественное функционирование многочисленных объектов электрифицированной железной дороги и сетей электроснабжения целых областей (регионов) зависит от информационно-управляющих систем, поэтому безотказность электронных систем является также экономическим фактором первостепенной важности. Это объясняет, почему стандарты и требования, относящиеся к ЭМС, признанные во всем мире или согласованные на региональном уровне, приветствуются изготовителями и пользователями электрического и электронного оборудования, в то время как другие стандарты иногда рассматриваются как мешающие функционированию предприятия.

Стандарты ЭМС являются предпосылкой к обеспечению того, что многочисленные виды электронного оборудования не окажут влияния друг на друга или, еще хуже, не вызовут катастрофических нарушений функционирования оборудования. Они устанавливают требования для оборудования как в отношении максимально допустимой эмиссии паразитных излучаемых и кондуктивных ЭМП помех, так и работоспособности оборудования в условиях влияния этих помех.

Стандарты - только один аспект проблем, связанных с обеспечением ЭМС. Они устанавливают общие требования к качеству функционирования в условиях помех, которым должны соответствовать изделия, но обеспечение выполнения их требований остается за изготовителями. Однако требования стандартов могут выполняться только в том случае, если существуют необходимые технические знания, навыки и решения, касающиеся проблемы ЭМС.

3. Функциональная безопасность

Возрастающее внимание мировой общественности к проблемам безопасности в настоящее время приводит к более детальному изучению всех аспектов безопасности, их определению и классификации с целью формирования более корректных законодательных нормативных актов, содержащих положения, обязательные при создании и эксплуатации опасных технологий и производств. Результат такого изучения - появление новых аспектов безопасности.

Одним из них следует считать аспект, вводимый понятием "функциональная безопасность". Это понятие уже появилось в международных нормативных документах [6, 7], регламентирующих

положения, выполнение которых рекомендуется при создании и эксплуатации управляющих систем для автоматизации опасных технологий и производств. Так, например, в [6] изложены общие требования к функциональной безопасности объектов, которые определяют системы, важные для их безопасности (системы, связанные с безопасностью управляемых объектов). В [7] приводится определение термина "функциональная безопасность" и ряд терминов, выполненных на его основе.

В отечественной терминологии совокупность управляемого оборудования (объекта управления) и управляющей системы принято называть системой управления. Кроме того, любой объект, предназначенный для производства какого-либо продукта, содержит управляемое оборудование и управляющую систему, т.е. представляет собой систему управления.

С учетом этого понятия определение, представленное в [7], более соответствует термину "функциональная безопасность управляемого оборудования", чем термину "функциональная безопасность". Применительно к ЭЭС, как к частному случаю, этот аспект логично представить термином "функциональная безопасность ЭЭС".

Таким образом, понятие "функциональная безопасность" в терминологии российских стандартов [8] можно использовать в следующей редакции:

Функциональная безопасность – раздел безопасности, занимающийся изучением отказов управляющих систем и управляемого оборудования, важных для безопасности, с целью:

- выявления опасных отказов, которые могут привести к нарушению безопасного состояния управляемого оборудования;*
- формирования нормативных документов, регламентирующих положения, выполнение которых при создании и эксплуатации опасных технологий или производств обеспечивает свойство управляющих систем, важных для безопасности, выполнять действия, необходимые для достижения управляемым оборудованием безопасного состояния или поддержания безопасного состояния управляемого оборудования.*

Представленное определение термина "функциональная безопасность" однозначно указывает, на основе какого изучения формируется концепция функциональной безопасности рассматриваемого объекта управления (системы управления или автоматизированного технологического комплекса), а также приписывается указанное свойство управляющим системам, важным для безопасности - выполнять действия, необходимые для достижения управляемым оборудованием безопасного состояния или поддержания безопасного состояния управляемого оборудования [7].

Теперь необходимо определить, какую новизну внесут сформированные таким образом понятия в теорию и практику создания и эксплуатации управляющих систем, важных для безопасности.

Как показывает накопленный опыт создания и эксплуатации управляющих систем, важных для безопасности, ЭК, указанный предмет изучения и вытекающие из него аспекты не являются чем-то новым и неизвестным. Расчеты надежности функционирования оборудования и управляющих систем всегда были и остаются основой для оценки безопасности ЭК. Тот факт, что функции управляющих систем, важных для безопасности, играют определяющую роль в обеспечении безопасности объектов управления, закреплено введением нормативного документа [9]. В нем указывается, что элементом управляющих систем при их классификации по влиянию на безопасность должна быть "функциональная группа". Этот термин определяет понятие:

Функциональная группа – принятая в проекте часть управляющей системы, представляющая собой совокупность средств автоматизации, выполняющих заданную функцию управляющей системы [9].

Таким образом, в управляющих системах, важных для безопасности, ЭК при анализе безопасности выделяются и анализируются все функциональные группы, реализующие функции, важные для безопасности. Этот же документ содержит требования к составу свойств функциональных групп, обеспечивающих необходимое качество их функционирования.

Изложенные факты и рассмотрение международных нормативных документов, в частности [6, 7], позволяют считать, что отечественные нормативные документы в основном хорошо отражают рекомендательные положения международных документов, касающиеся аспекта "функциональной безопасности".

Тем не менее, следует отметить, что в состав управляющих систем, важных для безопасности управляемых объектов, входит персонал управления, т.е. это автоматизированные системы, управляющие технологическим процессом и оборудованием. Таким образом, человеческий фактор представляет собой неотъемлемую часть изучения при определении функциональной безопасности любого объекта [3].

Следует особо обратить внимание на то, что для оператора следует планировать различную степень участия в управлении. Диапазон участия оператора распространяется от непосредственной пошаговой реализации требуемого алгоритма управления с помощью специально предусмотренных органов управления до инициации этого алгоритма управления на реализацию, выполняемую автоматически с одновременным получением оператором информации о пошаговой реализации всего алгоритма. Кроме того, есть супервизорный режим работы оператора, когда он управляет процессом через задание конечной

цели управления и наблюдает реализацию достижения заданной цели на средствах отображения информации.

Как показывает практика, супервизорный режим работы оператора наиболее предпочтителен для деятельности операторов, поскольку обеспечивает наиболее благоприятную психологическую обстановку. Оператор формирует параметры цели управления, задает эту цель на автоматическое исполнение и наблюдает за реализацией процесса достижения цели. Если некоторые события будут мешать достижению цели, то оператор должен иметь возможность вмешаться в процесс управления.

Реализация концепции на основе супервизорного режима работы оператора и принципов его психологической уверенности отвечает современным представлениям о деятельности оператора и, как следствие, повышает уверенность в безопасной реализации технологических процессов. Однако внедрение рассмотренной концепции на атомной станции связано с жесткими требованиями к наблюдаемости и управляемости технологического оборудования и технологического процесса.

Следовательно, введение понятия "функциональная безопасность" позволяет более точно очертить те аспекты безопасности рассматриваемого объекта управления, за которые отвечают управляющие системы.

4. ГОСТ Р МЭК 61508. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью

Системы, состоящие из электрических и / или электронных компонентов, в течение многих лет используются для выполнения функций безопасности в большинстве областей применения, в частности, и на электрифицированной железной дороге. Компьютерные системы [обычно называемые программируемыми электронными системами (PES)], использующиеся во всех областях применения для выполнения задач, не связанных с безопасностью, во все более увеличивающихся объемах используются для решения задач обеспечения безопасности. Для эффективной и безопасной эксплуатации технологий, основанных на использовании компьютерных систем, чрезвычайно важно, чтобы лица, ответственные за принятие решений, имели в своем распоряжении руководства по вопросам безопасности, которые они могли бы использовать в своей работе.

В связи с этим Международным Электротехническим Комитетом (МЭК, IEC) были разработаны стандарты IEC 61508 и IEC 61511.

Основной целью стандарта IEC 61508 являются аспекты применения электрических, электронных и программируемых электронных систем обеспечения безопасности. Стандарт IEC 61508 [10] – это групповой стандарт, применяющийся ко всем электрическим, электронным и программируемым электронным системам обеспечения безопасности, независимо от их назначения и характера использования.

Основной принцип, лежащий в основе стандарта, – это допущение существования процесса, создающего угрозу безопасности или окружающей среде, который может себя проявить в случае неблагоприятного стечения обстоятельств. Следовательно, стандарт ориентирован на нарушения в процессах и отказы системы (в отличие от угрозы здоровью и безопасности человека) и позволяет осуществлять системное и основанное на рисках управление безопасностью процессов.

Стандарт предполагает существование функций безопасности, снижающих уровень риска. Функции безопасности в совокупности образуют Инструментальную систему безопасности (SIS), устройство и принцип работы которой должны быть основаны на оценке и понимании возможных рисков.

Второстепенной целью стандарта IEC 61508 является создание условий для разработки электрических, электронных и программируемых электронных систем обеспечения безопасности для отраслей, в которых соответствующие стандарты отсутствуют.

Такие указания второго уровня в непрерывных производствах рассматриваются в международном стандарте IEC 61511 [11].

Стандарт IEC 61511 является не стандартом проектирования, а стандартом управления безопасностью на протяжении всего жизненного цикла системы от замысла до вывода из эксплуатации. Основой такого подхода является весь жизненный цикл системы.

Рассмотрим основные положения стандарта IEC 61508 и гармонизированного с ним российского стандарта ГОСТ Р МЭК 61508. Стандарт состоит из семи частей и содержит подробную технологию по распределению требований к надежности электрических, электронных и программируемых электронных систем, выполняющих функции безопасности в структурно сложных технологических системах. Рассматриваются особенности анализа риска и распределения требований к функциям и надежности систем, выполняющих функции безопасности на всех стадиях их жизненного цикла, определены технологии анализа и распределения функций безопасности и надежности с учетом применяемых систем безопасности, основанных на других технологиях, и внешних средствах снижения рисков. Стандарт определяет процедуры принятия решений о приемлемом уровне риска и предлагает технологии поиска оптимальных решений для его достижения.

Стандарт устанавливает общий подход к вопросам обеспечения безопасности для всего жизненного цикла систем, состоящих из электрических и / или электронных и / или программируемых электронных компонентов [электрических / электронных / программируемых электронных систем (E / E / PES)], которые используются для выполнения функций безопасности. Этот унифицированный подход был принят для того, чтобы разработать рациональную и последовательную техническую концепцию для всех электрических систем, связанных с безопасностью. Основной целью при этом является содействие разработке стандартов.

В большинстве ситуаций безопасность достигается за счет использования нескольких систем защиты, в которых используются различные технологии (например, механические, гидравлические, пневматические, электрические, электронные, программируемые электронные). Любая стратегия безопасности должна, следовательно, учитывать не только все элементы, входящие в состав отдельных систем (например, датчики, управляющие устройства и исполнительные механизмы), но также и все подсистемы, связанные с безопасностью, входящие в состав комбинированной системы, связанной с безопасностью. Таким образом, хотя данный стандарт посвящен в основном электрическим / электронным / программируемым электронным (E / E / PE) системам, связанным с безопасностью, он может также предоставлять общую структуру, в рамках которой рассматриваются системы, связанные с безопасностью, основанные на других технологиях.

Признанным фактом является существование огромного разнообразия использования E / E / PES в различных областях применения, отличающихся различной степенью сложности, опасностями и возможными рисками. В каждом конкретном применении необходимые меры безопасности будут зависеть от многочисленных факторов, которые являются специфичными для этого применения. Настоящий стандарт, являясь базовым стандартом, позволяет формулировать такие меры в будущих международных стандартах для областей применения.

Настоящий стандарт:

- рассматривает все соответствующие этапы жизненного цикла систем безопасности в целом, а также подсистем E / E / PES и программного обеспечения (например, начиная с исходной концепции, включая проектирование, разработку, эксплуатацию, сопровождение и вывод из эксплуатации), в ходе которых E / E / PES используются для выполнения функций безопасности;
- задуман с учетом быстрого развития технологий; его структура является достаточно устойчивой и полной для того, чтобы удовлетворять потребностям разработок, которые могут появиться в будущем;

- делает возможной разработку стандартов областей применения, где используются системы E / E / PES; разработка стандартов для областей применения в рамках общей структуры, вводимой настоящим стандартом, должна приводить к более высокому уровню согласованности (например, основных принципов, терминологии и т. п.), как для отдельных областей применения, так и для их совокупности; это приносит преимущества как в плане безопасности, так и в плане экономики;
- предоставляет метод разработки спецификаций для требований к безопасности, необходимых для достижения требуемой функциональной безопасности E / E / PE систем, связанных с безопасностью;
- использует уровни полноты безопасности для задания планируемого уровня полноты безопасности для функций, которые должны быть реализованы E / E / PE системами, связанными с безопасностью;
- использует для определения уровней полноты безопасности подход, основанный на оценке рисков;
- устанавливает количественные величины отказов E / E / PE систем, связанных с безопасностью, которые связаны с уровнями полноты безопасности;
- устанавливает нижний предел для планируемой величины отказов в режиме опасных отказов, который может быть задан для отдельной E / E / PE системы, связанной с безопасностью; для E / E / PE систем, связанных с безопасностью, работающих:
 - в режиме с низкой интенсивностью запросов нижний предел для выполнения планируемой функции по запросу устанавливается на средней вероятности отказов 10^{-5} ;
 - в режиме с высокой интенсивностью запросов нижний предел устанавливается на вероятности опасных отказов 10^{-9} в час.

Настоящий стандарт охватывает вопросы, которые должны учитываться при использовании электрических, электронных, программируемых электронных систем для выполнения функций безопасности. Главная цель стандарта - облегчить техническим комитетам разработку стандартов. Это позволит полностью учесть существенные факторы, связанные с решаемыми задачами, и, таким образом, удовлетворить конкретные потребности области применения. Другая цель настоящего стандарта заключается в том, чтобы сделать возможной разработку электрических, электронных, программируемых электронных (E / E / PE) систем, связанных с безопасностью, в условиях возможного отсутствия стандартов для областей применения.

5. Заключение

В настоящее время стандарты функциональной безопасности [10, 11], только что рассмотренные, а также разработанные дополнительно [12-18] в развитие [10, 11], не стали ещё обязательными к исполнению при разработке и производстве высокотехнологических систем контроля, управления и защиты в ЭК электрифицированной железной дороге. Будем надеяться, что при разработке высокоскоростных железнодорожных транспортных систем (в частности, транспорта с магнитной левитацией) на базе общих стандартов IEC 61508 и IEC 61511 будет уделено внимание и разработке стандартов по функциональной безопасности.

Библиографический список

1. Алпеев А. С. Основные понятия безопасности // Надежность и контроль качества, серия "Надежность", 1994. – № 7.
2. Аполлонский С. М. Электромагнитная совместимость и функциональная безопасность в электроэнергетике: Монография. – М.: SCIENCE, 2016. – 324 с.
3. Апорович А. Ф. К теории электромагнитной совместимости // Радиотехника, 1976. – Т. 31. – № 8. – С. 3-9.
4. Асадулаев А. Б. Электроэнергетическая безопасность в условиях ликвидации государственной энергетической монополии // Проблемы современной экономики, 2008. – № 3 (27).
5. Гуревич В. И. Уязвимости микропроцессорных реле защиты: проблемы и решения. – М., 2014. – 256 с.
6. МЭК 61508-1: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 1. Общие требования.
7. МЭК 61508-4: 2000. Функциональная безопасность. Системы электрические/ электронные/программируемые электронные, связанные с безопасностью. Определения и аббревиатуры терминов.
8. Волкова И. Н. Стандартизация научно-технической терминологии. – М.; Изд-во стандартов, 1984.
9. Жарков Ю. Н. Повышение технического совершенства и надежности функционирования систем автоматического управления устройствами тягового электроснабжения. Автореф. диссертации на соискание степени д. т. н. – Ростов на Дону, 1992. – 32 с.
10. IEC 61508:2010 Functional Safety of Electrical /Electronic /Programmable Electronic Safety-Related Systems.
11. IEC 61511:2004 Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector.

12. МЭК 61508-1: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 1. Общие требования.

13. МЭК 61508-2: 2000. Функциональная безопасность электрических / электронных и программируемых электронных систем. Часть 2. Требования к электрическим / электронным и программируемым электронным системам безопасности.

14. МЭК 61508-3: 1998. Функциональная безопасность электрических / электронных и программируемых электронных систем. Часть 3. Требования к программному обеспечению.

15. МЭК 61508-4 Функциональная безопасность. Системы электрические/ электронные/программируемые электронные, связанные с безопасностью. Определения и аббревиатуры терминов.

16. МЭК 61508-5: 1998. Функциональная безопасность электрических / электронных и программируемых электронных систем. Часть 5. Примеры методов определения уровня соответствия комплексу требований безопасности.

17. МЭК 61508-6: 2000. Функциональная безопасность электрических / электронных и программируемых электронных систем. Часть 6. Руководство по применению стандартов IEC 61508-2 и IEC 61508-3.

18. МЭК 61508-7: 2000. Функциональная безопасность электрических / электронных и программируемых электронных систем. Часть 7. Обзор способов и мер.

References

1. Alpeev A. S. *Nadezhnost i Kontrol Kachestva, Seriya "Nadezhnost" – Reliability and quality control, Series of "Reliability "*, 1994, no. 7, pp. 24 –30.

2. Apollonskiy S. M. *Elektromagnitnaya Sovmestimost i Funktsionalnaya Bezopasnost v Elektroenergetike: Monografiya [Electromagnetic compatibility and functional safety in the electricity industry: Monograph]*. Moscow, 2016. 324 p.

3. Aporovich A. F. *K Radiotekhnika – Radio engineering*, 1976, vol. 31, no. 8, pp. 3–9.

4. Asadulaev A. B. *Problemyi Sovremennoy Ekonomiki – Problems of Modern Economics*, 2008, no. 3 (27), pp. 64–71.

5. Gurevich V. I. *Uyazvimosti Mikroprotsektornykh Rele Zashchity: Problemyi i Resheniya [Vulnerabilities of microprocessor relay protection: problems and solutions]*. Moscow, 2014. 256 p.

6. МЭК 61508-1: 1998. Функциональная безопасность электрических /электронных и программируемых электронных систем. Часть 1. Общие требования [MEK 61508-1: 1998. Функциональная Безопасность Электрических

Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 1. Obschie Trebovaniya].

7. MEHK 61508-1: 1998. Funkcional'naya bezopasnost' ehlektricheskikh /ehlektronnyh i programmiruemyh ehlektronnyh sistem. CHast' 1. Obschie trebovaniya [MEK 61508-4: 2000. Funktsionalnaya Bezopasnost. Sistemyi Elektricheskije/Elektronnyie/Programmiruemyie Elektronnyie, Svyazannyie s Bezopasnostyu. Opredeleniya i Abbreviatoryi Terminov].

8. Volkova I. N. *Standartizatsiya Nauchno-tehnicheskoy Terminologii* [Standardization of scientific - technical terminology]. Moscow, 1984. 64 p.

9. Zharkov Yu. N. Povyishenie Tehnicheskogo Sovershenstva i Nadezhnosti Funktsionirovaniya Sistem Avtomaticheskogo Upravleniya Ustroystvami Tyagovogo Elektrosnabzheniya [Increase of technical perfection and reliability of automatic control systems of traction power supply devices]. Rostov na Donu, 1992. 32 p.

10. IEC 61508:2010 Functional Safety of Electrical /Electronic /Programmable Electronic Safety-Related Systems.

11. IEC 61511:2004 Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector.

12. MEK 61508-1: 1998. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 1. Obschie Trebovaniya [IEC 61508-1: 1998, Functional safety of Electrical Electronic and Programmable electronic systems. Part 1: General requirements].

13. MEK 61508-2: 2000. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 2. Trebovaniya k Elektricheskim, Elektronnyim i Programmiruemyim Elektronnyim Sistemam Bezopasnosti [IEC 61508-2: 2000 Functional safety of electrical. electronic and programmable electronic systems. Part 2: Requirements for Electrical. Electronic and Programmable Electronic Safety Systems].

14. MEK 61508-3: 1998. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 3. Trebovaniya k Programmnomu Obespecheniyu [IEC 61508-3: 1998, Functional Safety of Electrical Electronic and Programmable Electronic Systems. Part 3: Software requirements].

15. MEK 61508-4 Funktsionalnaya Bezopasnost. Sistemyi Elektricheskije Elektronnyie/Programmiruemyie Elektronnyie, Svyazannyie s Bezopasnostyu. Opredeleniya i Abbreviatoryi Terminov [IEC 61508-4 Functional safety. Systems of Electrical Electronic Eprogrammable Electronic Safety-related. Definitions of Terms and Abbreviations].

16. MEK 61508-5: 1998. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 5. Primeryi Metodov Opredeleniya Urovnya Sootvetstviya Kompleksu Trebovaniy Bezopasnosti [IEC 61508-5: 1998, Functional Safety of Eelectrical Electronic

and Programmable Electronic Systems. Part 5: Examples of methods for determining the level of compliance with complex security requirements].

17. МЭК 61508-6: 2000. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 6. Rukovodstvo po Primeneniyu Standartov IEC 61508-2 i IEC 61508-3 [IEC 61508-6: 2000 Functional Safety of Electrical Electronic and Programmable Electronic Systems. Part 6: Guidance on the Application of sStandards IEC 61508-2 and IEC 61508-3].

18. МЭК 61508-7: 2000. Funktsionalnaya Bezopasnost Elektricheskikh / Elektronnyih i Programmiruemyih Elektronnyih Sistem. Chast 7. Obzor Sposobov i Mer [IEC 61508-7: 2000 Functional Safety of Electrical Electronic and Programmable Electronic Systems. Part 7: Overview of techniques and measures].

Сведения об авторе:

АПОЛЛОНСКИЙ Станислав Михайлович, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор. Специалист в области электромагнитной безопасности технических средств и биообъектов (в том числе и человека) в техносфере; конструирования электрических машин и электрических аппаратов.
E-mail: smapollon@yahoo.com

Information about author:

Stanislav M. APOLLONSKY, Honored Worker of Science, Doctor of Technical Sciences, Professor. A specialist in the field of electromagnetic safety of technical devices and biological objects (including humans) in the technosphere; design of electric machines and electric devices.
E-mail: smapollon@yahoo.com

А. В. Рубинский¹, Л. А. Носкин²

¹Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова

²Институт ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт»

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМАМ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Дата поступления: 31.07.2016

Решение о публикации 28.11.2016

Дата публикации 26.12.2016

Аннотация: Среди внешних физических факторов, требующих повышенного внимания при проектировании и эксплуатации магнитолевитационного транспорта, защита обслуживающего персонала и пассажиров от электромагнитных полей и механических ускорений, способных вызвать экстремальные состояния в биохимических и физиологических системах живых организмов, входит в разряд приоритетных.

Цель работы: создание инструментария, методик и системы рекомендаций, позволяющих объективизировать экспертизу коллективной и индивидуальной безопасности при нахождении человека в условиях магнитолевитационного транспорта, а также оценить предельно допустимые показатели.

Методы: Для достижения поставленной цели, наиболее эффективно использовать методологию полисистемной предиктивной диагностики, позволяющей отслеживать в динамике степень сбалансированности систем регуляции гомеостаза, являющегося определяющим фактором индивидуального адаптогенеза.

В соответствии с законами биомеханики, биомагнетизма и теории стресса, воздействия этих неблагоприятных факторов на организм вызывают с его стороны сначала резистивные и адаптивно-восстановительные физиологические реакции, которые затем, при продолжении действия и возрастании дозы и нагрузки, видоизменяются и последовательно приводят системы организма человека к экстремальным и критическим (патологическим) состояниям.

Из литературных источников по биомагнетизму, следует, что даже слабые магнитные поля могут оказывать весьма эффективное действие, а после экспозиции организма в разных по величине индукции магнитных полях наблюдали однонаправленные физиологические сдвиги. Подобным образом ведут себя реакции организма на ускорения.

Практическая значимость работы заключается в том, что исследования уточнят известные гигиенические требования по абсолютным величинам и продолжительности действия неблагоприятных факторов на железнодорожном транспорте, которые отражены в соответствующих инструкциях и СанПиНах. Превышение дозы воздействия по этим показателям может вызывать необратимые декомпенсационные состояния организма. Однако в связи с появлением

принципиально новой транспортной технологии требуется уточнение и корректировка существующих представлений.

Ключевые слова: магнитолевитационный транспорт, саногенетический мониторинг, адаптация.

A. V. Rubinskiy¹, L. A. Noskin²

¹- Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University

²- Saint-Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI) National Research Centre "Kurchatov Institute"

BIOMEDICAL ASPECTS OF PROBLEMS SAFE USAGE OF TRANSPORT MAGLEV

Annotation: Among the external physical factors that require attention during the process of projecting maglev transport, the key factor is the protection of staff and passengers from electromagnetic fields and mechanical accelerations that can cause extreme states in biochemical and physiological systems of living organisms.

Objective: creation of tools, methods and recommendation systems, allowing to objectify the assessment of collective and individual security of the human beings being under the influence of maglev transport; assess the maximum allowable parameters.

Methods: The most efficient way to achieve this goal is to use the methodology of polysystemic predictive diagnostics that allows to dynamically track in the degree of balance in regulative system of homeostasis which is a determining factor of individual adaptogenesis.

In accordance with the laws of biomechanics, biomagnetism and stress theory, the impact of these adverse factors is causing resistive and adaptive restoration physiological responses at the same time, which subsequently, with the continuation of action and increase of dose and load, modify and lead to extreme and critical (pathological) states in human organism.

From the literature on Biomagnetism, it follows that even weak magnetic fields can provide highly efficient action, and after organism being exposed to inductive magnetic fields of various intensity one-sided physiological shifts were observed. Organism's reactions to acceleration show similar behavior.

The practical significance of the work lies in the fact that the study will specify hygiene requirements in absolute values and duration of adverse factors on the railways. Exceeding the exposure dose exposure on these indicators can cause irreversible negative condition of the body. However, due to the emergence of a fundamentally new transport technology, existing concepts require refinement and updating.

Key words: maglev transport, sanogenetic monitoring, adaptation

Введение

С позиций фундаментальной медицины важнейшим свойством организма считают способность адаптироваться к меняющимся условиям внешней и внутренней среды. Вот почему существующие методы мониторинга должны оцениваться с позиций их возможности объективно тестировать адаптивный потенциал организма в реальных условиях его

взаимодействия с этими факторами. Однако, учитывая бесконечное разнообразие внешних физических факторов, требующих повышенного внимания при проектировании и эксплуатации магнитолевитационного транспорта [2, 3, 9] и не меньшее разнообразие индивидуальных вариантов приспособления организма [1, 7, 8, 11, 12, 13], даже теоретически невозможно строго обосновать единый универсальный метод. С этих позиций многообразие существующих методов мониторинга представляется принципиально оправданным и анализ их информативности необходимо проводить не на основе противопоставления, а на основе обозначения границ их функциональной адекватности.

К изложенным теоретическим сложностям мониторинга в условиях эксплуатации магнитолевитационного транспорта добавляются и технические сложности, связанные с тем, что используемые методики должны быть предельно экспрессными, безопасными, экономически незатратными, а получаемые параметры - внятные с позиций современной функциональной физиологии.

Известные гигиенические требования по абсолютным величинам и продолжительности действия неблагоприятных факторов на железнодорожном транспорте отражены в соответствующих инструкциях и СанПиНах, полученные на основе мониторингов, которые можно разбить на отдельные группы, отражающие их функциональную предназначенность:

Мониторинг физического состояния организма. Достоинством данных мониторингов является доступность используемых критериев, средств измерения, их прогностическая эффективность. Существуют хорошо разработанные программы анализа получаемых параметров физического развития. К сожалению, относительно низкая скорость обследования (до 1,5-2 часов) и требование одновременного участия нескольких специалистов затрудняет проведение регулярных динамических обследований. Результаты мониторинга достаточно информативны для оценки физических способностей обследуемого. Однако нет строго обоснованных заключений на основе определяемых физических кондиций, что затрудняет интерпретацию функциональных резервов жизнеобеспечивающих систем организма, что недостаточно с позиций общесистемных характеристик здоровья.

Мониторинг психологического состояния организма. Психотипирование представляется принципиально информативным в вопросах прогноза психогенной адаптивности пассажиров к условиям магнитолевитационного транспорта. К сожалению, недостаточная обеспеченность экспертизы объективными методами съема информации и одновременное использование очень разнообразных методик психотипирования создают значительные затруднения при проведении

мониторинга. Как и в случае мониторинга физических кондиций, психотипирование не визуализирует функциональные резервы жизнеобеспечивающих систем [12, 13].

Санитарно-гигиенический мониторинг. Для установления степени опасности факторов окружающей среды санитарно-гигиеническому мониторингу применяют санитарно-гигиенический мониторинг. Относительным его недостатком можно считать то обстоятельство, что его подходы прогнозируют обобщенные риски и в меньшей степени индивидуальные, что ведет к достаточно высоким требованиям к гигиенической безопасности.

Медицинский мониторинг здоровья. Это наиболее широко распространенный мониторинговый подход. Ранняя донозологическая инструментальная диагностика заболеваний, вызванных воздействием внешних факторов, реально осуществима только в условиях многопрофильных медицинских учреждений, укомплектованных достаточным количеством инструментальных методик и врачами-специалистами. Для задач мониторинга в условиях внешнего воздействия физических факторов, требующих повышенного внимания при проектировании и эксплуатации магнитолевитационного транспорта, медицинский мониторинг не отвечает на основной вопрос: в какой степени наличие того или иного заболевания препятствует функциональной адаптации в условиях разных по величине индукции магнитных полей и ускорения?

Инструментальный саногенетический мониторинг. Для проведения саногенетического мониторинга используется специализированное оборудование, разработанное на основе широко распространенных медицинских методик и всесторонне апробированное. Использование инструментального приборного комплекса можно применять в разных местах за счет создания передвижных комплексов. При этом обеспечивается высокая информативность при тестировании функциональных резервов организма с помощью унифицированной стандартизированной методикой, а объективность получаемых результатов – единым программным обеспечением. Результаты саногенетического мониторинга включают элементы физического, психического, санитарно-гигиенического и медицинского мониторинга [6, 11, 15].

Для понимания проблемы безопасности использования магнитолевитационного транспорта мы исходим из отсутствия отрицательного влияния на здоровье, которое определяется как «состояние организма, обеспечивающее оптимальное выполнение его функций в необходимой мере для продуктивных отношений со средой» [10]. В организме существуют специализированные системы, функция которых заключается в том, чтобы анализировать меняющуюся ситуацию внутри и

вне организма и подстраивать последний на другой, желательно оптимальный, уровень взаимодействия со средой [1, 7, 11].

Из этой формулировки следует, что состояние здоровья прежде всего обеспечивается уровнем ресурса функций, расходуемого человеком на приспособление к изменяющимся условиям окружающей среды находящегося в связи с эксплуатацией магнитолевитационного транспорта. Эти представления достаточно хорошо освещены в литературе при меняющихся условиях внешней (климат, вредоносные воздействия и проч.), так и внутренней (болезни, рост и развитие органов и систем и проч.) среды.

Из литературных источников по биомагнетизму, содержащих исследования в больших диапазонах магнитоиндуктивной и временной нагрузки на человека и животных, следует, что даже слабые магнитные поля могут оказывать весьма эффективное действие, а после экспозиции организма в разных по величине индукции магнитных полей наблюдали однонаправленные физиологические сдвиги [4, 5]. Подобным образом ведут себя реакции организма на ускорения. Их физиологическое действие определяется не только величиной и продолжительностью экспозиции, а зависит также от скорости нарастания воздействия, направленности вектора перегрузки, исходного функционального состояния испытуемого, других факторов [1].

Главным информативным элементом при установлении индивидуальной безопасности является объективная инструментальная экспертиза, безопасная методика оценки уровней функциональных напряжений в системах реагирующих на повреждающее действие внутренних и внешних агентов: сердечной, сосудистой, дыхательной, нервной (функция движения) и обмена веществ. Поставленная задача доступна только при условии использования современных биофизических методик мониторинга саногенеза.

На основе приведенного междисциплинарного направления «полисистемный саногенетический мониторинг» возможно сформировать следующую цель: создание инструментария, методик и системы рекомендаций, позволяющих объективизировать экспертизу коллективной и индивидуальной безопасности при нахождении человека в условиях магнитной левитации, а также оценить предельно допустимые показатели.

Методология экспертизы с помощью саногенетического мониторинга

Разработанный нами программно-аппаратный комплекс полисистемного саногенетического мониторинга включает: спироартериокардиограф (САКР, рекомендован Министерством здравоохранения Российской Федерации (МЗ РФ) к применению в

медицинской практике, прот. № 2 от 9 июля 2003 г.) и компьютеризированный измеритель движений (КИД, рекомендован МЗ РФ к применению в медицинской практике, прот. № 4 от 11.09.02), обладающие высокой пропускной способностью (до 10-12 идентификаций в час), изготовлены в варианте, удобном для транспортировки и адаптированы к условиям выездных исследований [14, 15].

Диагностическая информативность саногенетического обследования заметно увеличена за счет включения в комплекс метода лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС, рекомендован МЗ РФ к применению в медицинской практике, лиц. № 577 от 15 июня 1999 г., сертификат RU.C.39.003.AN 5381) биологических жидкостей, позволяющего в экспрессном режиме анализировать динамику сдвигов в сывороточном и тканевых гомеостазах [6].

Многопараметровые результаты, полученные после проведения трех исследований оценивают по следующим группам: оптимальная, достаточная, напряженная с учетом направленностей сдвигов как в гипо-, так в гиперфункциональную область.

Оцениваемые физиологические показатели наиболее чувствительных к стрессу систем организма имеют как распределения, подобные нормальным (артериальное давление, частота сердечных сокращений, длительность пиков и сегментов сердечного комплекса и т.д.), так и отличающиеся от нормального (время переключения центральных установок, точность и плавность движений и т.д.). В случае распределения, отличного от нормального, параметрический метод не используется из-за асимметрии сигмальных границ относительно математического ожидания и эксцесса распределения (параметры, характеризующие отличие реального распределения от нормального, для которого величины этих коэффициентов равны нулю). В нашей работе мы используем метод центильных таблиц, который менее точный, но корректно использовать для оценивания любых показателей, так как оперирует только с процентным содержанием группы, соответствующим данным границам контролируемого показателя. Для каждого параметра определяется его ранг соответствующий частоте встречаемости в условно-нормальной популяции и уровню функционирования исследуемой физиологической системы.

Сбалансированность физиологической системы определяется суммарным отклонением показателей ее работы от соответствующей данному состоянию организма «индивидуальной саногенетической нормы». Ранжирование результатов исследования условно здоровой популяции позволяет установить наиболее часто встречаемые в популяции значения для каждого из измеренных показателей. Однако только для ряда параметров известна такая взаимосвязь, а для большинства показателей информация отсутствует. Если не учесть эту взаимосвязь, то в некоторых

случаях отклонения показателей от среднепопуляционных будут трактоваться как напряженные состояния исследуемой физиологической системы, и наоборот: другие параметры будут трактоваться как сбалансированные, хотя таковыми и не являются. Поэтому необходимо учесть наиболее вероятную в популяции функциональную взаимосвязь между параметрами и с ее учетом вычислить взаимные смещения показателей относительно среднепопуляционных, что и будет основой построения индивидуальной нормы.

Результаты полисистемного саногенетического мониторинга

В гигиенических исследованиях, на основе которых формируются нормативная база обеспечения безопасности [5], когда для каждого повреждающего фактора превышения определенного уровня интенсивности воздействия устанавливаются санитарные нормы. Однако многие из измеряемых параметров после воздействия повреждающего фактора отличаются как по направлению физиологического сдвига (в сторону гипо- или гиперфункциональных значений), так и по величине (попадание в тот или иной центильный интервал). Кроме того, теоретически взаимосвязь направленности сдвигов функционирования систем организма после воздействия повреждающего фактора может быть как однонаправленной, так и обратной. Для определения абсолютной величины того или иного физиологического сдвига принципиально важно вводить поправку либо на априорно-установленную взаимосвязь параметров (если она известна), либо на величину частной корреляции этих параметров, полученную из уравнения множественной регрессии. В настоящее время вопрос о комплексной безопасности магнитолевитационного транспорта в других странах предлагают решать путем сравнения критериальных значений риска с минимальным уровнем эндогенной смертности в социуме [9].

В нашем случае, анализ индивидуального саногенетического профиля выявляется наиболее несбалансированные параметры систем организма при воздействии факторов, связанных с магнитолевитационным транспортом, относительно соотношений их значений в условно нормальной выборке. Зная функциональную роль каждого из параметров, можно определить источник функционального напряжения внутри конкретной физиологической системы. Суммарный дисбаланс характеризует уровень напряженности данной системы в целом как функцию совокупности параметров, а в дальнейшем позволяет определить характер межсистемных перестроек. Однако, опираясь только на дисбаланс физиологической системы сказать однозначно является ли это ответом на воздействие окружающей среды или результат сложившейся отрицательной реакции (неудовлетворительная адаптация), при которой

происходит хроническое напряжение физиологической системы. Поэтому оценка физиологических возможностей организма может осуществляться только на основе динамичных исследований. Основными показателями адаптационных возможностей будут формы изменчивости отдельных внутри- и межсистемных корреляций в направлении их подстройки друг к другу.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1) Определение общего уровня напряженности адаптационных систем организма при эксплуатации магнитолевитационного транспорта может быть установлено только при многопараметровых динамических исследованиях. Кратность и интервал между обследованиями определяется исходя из конкретных задач физиологического нормирования.

2) Одновременное изменение параметров функционирования физиологических систем характеризует наличие адаптационных процессов, а по степени вариабельности можно судить о сбалансированности адаптационного ответа на действие внешних факторов, возникающих при эксплуатации магнитолевитационного транспорта.

3) Наличие в физиологических системах разобщенного уровня взаимоотношений соответствует варианту адаптационного ответа и предполагает возникновение напряженных состояний в системе адаптации, приводящих к фиксации патологических следов.

4) В динамике обследований учитываются изменившиеся параметры физиологических систем под действием факторов, возникающих при эксплуатации магнитолевитационного транспорта.

5) По изменению параметров функционирования физиологических систем под действием внешних факторов в область «физиологически напряженных», проводится дальнейший количественный углубленный анализ.

6) Изменение функционирования физиологических систем дифференцируются по направлению на гипо- и гиперфункциональные, что позволяет отличить условия недостаточного включения функции от ее перегрузки.

Данные условия применимы для оценки характера адаптационных напряжений, устанавливаемых как на основе инструментальных методов обследования, так и при традиционных физиолого-гигиенических подходах.

Описанный алгоритм количественной оценки результатов измерений с учетом их внутри- и межсистемных корреляций позволяет унифицировать процедуру расчета индивидуального санотипа и определить возможные варианты адаптационного ответа на действие факторов при эксплуатации магнитолевитационного транспорта.

Применение кластерного анализа динамики многопараметровых межсистемных вариантов, позволяющего в режиме мониторинговых наблюдений не только выделять группы саногенетических трансформаций, но и определять наиболее чувствительные физиологические системы у представителей условно здоровой популяции

Комплекс саногенетических исследований подлежит анализу в автоматизированной экспертной системе (ЭС). Основу ЭС составляет реляционная база данных, имеющая формат Microsoft Access. Информация в базу данных ЭС поступает из локальных баз данных компьютеризированных приборов: САКР, КИД, ЛКС или заносится вручную.

Экспертная система позволяет ранжировать все показатели в шкале нормо-, гипо- и гиперфункциональные состояния с учетом "индивидуальной нормы", таким образом определить напряженные системы саногенеза организма обследуемого.

Степень выраженности функциональных изменений в той или иной системе в конечном счете сформирует основные направления развивающейся чувствительности организма к воздействию внешних факторов, возникающих при эксплуатации магнитолевитационного транспорта и определит прогноз развития того или иного патологического процесса.

Таким образом, прогноз можно осуществить на уровне реакции организма на действие нескольких внешних факторов, что и отвечает принципам донозологической диагностики. При этом необходимо регистрировать напряжение физиологически адекватных функций и устанавливать характер межсистемных взаимоотношений.

Существующие подходы к гигиенической оценке эксплуатации магнитолевитационного транспорта на организм человека предполагают, как правило, выявление патологического влияния на организм человека изолированных факторов. Вместе с тем сам факт установления отдельных (изолированных) функциональных (и патологических) напряжений не может служить строгим критерием при определении уровня потенциальной опасности. Однако функциональные напряжения могут приводить к утомлению или перенапряжению, которое и становится основой патологического влияния на организм человека. Сравнение критериальных значений риска и уровня эндогенной смертности в социуме [9] не отвечает принципам донозологической диагностики, следовательно, оценка безопасности должна проводиться последовательно.

Практическая значимость полисистемного саногенетического мониторинга в оценке влияния магнитолевитационного транспорта на человека

Здоровье человека при воздействии внешних факторов в процессе эксплуатации магнитолевитационного транспорта обеспечивается разнообразными механизмами, которые реализуются на всех структурно-функциональных уровнях организма. В своей совокупности они определяются как саногенетические механизмы. Патологический процесс развивается при нарушении первичных саногенетических механизмов. Но и сам патологический процесс вызывает активацию подавленных и возникновение новых саногенетических механизмов, обеспечивающих его ликвидацию [10]. Активация ресурсов является частью развития состояния стресса, степень выраженности и скорость протекания которого зависит от индивидуальных особенностей организма, который находится в зоне действия внешних факторов при эксплуатации магнитолевитационного транспорта. По нашим представлениям это экспозиция в разных по величине индукции магнитных полей в больших диапазонах магнитоиндуктивной и временной нагрузки на человека и животных, а также реакции организма на ускорения. Их физиологическое действие определяется не только величиной и продолжительностью экспозиции, а зависит также от скорости нарастания воздействия, направленности вектора перегрузки, исходного функционального состояния испытуемого, других факторов.

Оценка качества адаптации производится в основном на физиологическом уровне, при этом прогноз состояния функционального резерва организма дается на небольшой период времени. Дать долгосрочную картину последствий воздействия в большинстве случаев невозможно.

Доказано, что экологические и антропогенные факторы окружающей среды оказывают большое влияние на организм животных и человека [1,4,5]. Многофакторный и стохастический характер антропогенного воздействия на организм малых доз и концентраций обуславливает необходимость исследования систем его резистентности. На стадии инициации патологических механизмов организм сохраняет за собой выбор дальнейшего развития процесса. Выбор этот определен функцией большого числа регуляторных процессов, инициируемых саногенетическими механизмами [10], направленными на ликвидацию патологических изменений. Предсказательная эффективность ранней диагностики связана не столько с ранним опознаванием одного из внешних факторов, действующих на организм человека при эксплуатации магнитолевитационного транспорта, сколько с анализом регуляторных процессов, который и определит тот или иной вариант устойчивости

организма к развитию патологии. Недостаточность систем резистентности при действии патологического фактора будет приводить к развитию предпатологического состояния.

По-видимому, в условиях эксплуатации магнитолевитационного транспорта человек столкнется с сочетанным действием целого ряда факторов, которые достаточно сложно моделировать: электромагнитные и химические воздействия, шум, вибрация, температура, ускорения и др. Основные трудности в выявлении эффектов воздействия таких факторов окружающей среды связаны со слабой выраженностью проявлений и ограниченной чувствительностью методов исследования.

Оценка безопасности магнитолевитационного транспорта для человека осложняется тем, что все структуры здравоохранения ориентированы на выявление уже заболевших людей, на диагностику заболеваний и последующее лечение и предупреждение. Гигиеническое и профилактическое направление в медицине направлено исключительно на обнаружение и установление норм для отдельных патогенных факторов, действующих на человека при эксплуатации транспорта. В связи с вышесказанным, проблемы охраны здоровья, учитываемые при проектировании новых транспортных систем и рассматриваемые преимущественно с санитарно-гигиенических позиций, будут явно недостаточны без глубокого изучения реакций организма на воздействие факторов, действующих на человека при эксплуатации магнитолевитационного транспорта, и будут создавать необоснованные трудности при проектировании [7].

Метод саногенетического мониторинга апробирован в условиях работы на предприятиях ядерно-топливного цикла с наиболее значимым фактором воздействия радиации, в ходе массового обследования работников судоремонтного завода в г. Заполярье и ряде других производств, считающихся потенциально опасными для здоровья работников.

Заключение

Ориентируясь на принципы саногенетического мониторинга, подверженным внешним факторам, действующим на человека при эксплуатации магнитолевитационного транспорта было установлено, что группы риска следует формировать согласно чувствительности к факторам в зависимости от того, в какой степени к регистрируемым показателям подстраиваются основные физиологические регуляторные системы: сердечно-сосудистая, дыхательная, нервно-мышечная и метаболическая.

На основании изложенного, алгоритм определения рисков эксплуатации магнитолевитационного транспорта должен содержать следующие этапы:

1. На основе устанавливаемых изменений в системе регуляции формируются референтные группы по напряжению функционирования физиологических систем.

2. В соответствующих референтных группах выявляются варианты, которые связаны с функциональным перенапряжением в основных физиологических системах.

3. На основе системного анализа наиболее напряженных состояний основных физиологических систем в каждой из выделенных референтных групп формируются группы риска по соответствующим патологиям.

Библиографический список

1. Агаджанян Н. А. Актуальные проблемы адаптационной, экологической и восстановительной медицины / Н. А. Агаджанян, В. В. Уйба, М. П. Куликова, А. В. Кочеткова. – М.: Медика, 2006. – 208 с.

2. Антонов Ю. Ф., Зайцев, А. А. Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.

3. Амосков В. М. Численное моделирование электродинамических подвесов левитационных транспортных систем. III. ЭДП с непрерывной путевой структурой / В. М. Амосков, Д. Н. Арсланова, А. М. Базаров, А. В. Белов, В. А. Беляков, Т. Ф. Белякова, В. Н. Васильев, Е. И. Гапионков, А. А. Зайцев, М. В. Капаркова, В. П. Кухтин, Е. А. Ламзин, М. С. Ларионов, Н. А. Максименкова, В. М. Михайлов, А. Н. Неженцев, Д. А. Овсянников, А. Д. Овсянников, И. Ю. Родин, С. Е. Сычевский // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2015. – № 3. – С. 4-20.

4. Аполлонский С. М. Мобильный телефон и человек / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский, Т. В. Каляда, Б. Е. Синдаловский, Д. А. Сурков // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № S1. – С. 9-14.

5. Аполлонский С. М. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учеб. пособие. / С. М. Аполлонский, Т. В. Каляда, Б. Е. Синдаловский – СПб.: Политехника, 2006. – 263 с.

6. Бажора Ю. И., Носкин Л. А. Лазерная корреляционная спектроскопия в медицине. – Одесса: Друк, 2002. – 397 с.

7. Баранов В. М. Оценка адаптационных возможностей организма и задачи повышения эффективности здравоохранения / В. М. Баранов, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева, В. М. Михайлов // Экология человека. – 2004. – № 6. – С. 25-29.

8. Вергунов Е. Г., Николаева Е. И. Проблема получения научного знания на примере методологии анализа вариабельности сердечного ритма // Естественно-научный подход в современной психологии. – М.: Изд-во ИПРАН, 2014. – С. 232-238.

9. Зайцев А. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / А. А. Зайцев, В. В. Шматченко, П. А. Плеханов и др. // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5 (60). – С. 60-63.

10. Крыжановский Г. Н. Дизрегуляторная патология. – М.: РИТ-ЭКСПРЕСС, 2002. – 96 с.

11. Крыжановский, Г. Н. Здоровье и его полифункциональная оценка / Г. Н. Крыжановский, Л. Е. Курнешова, В. В. Пивоваров, Л. А. Носкин, М. Ю. Карганов // Интегративная антропология. – 2003. – Т. 1 – № 2. – С. 46-51.

12. Николаева Е. И., Вергунов Е. Г., Ельникова О. Е. Модель устойчивой адаптации хронически больных людей с использованием вариабельности кардиоритма. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 1578.

13. Николаева Е. И., Ельникова О. Е. Теоретический анализ подходов к изучению адаптации к хроническому заболеванию. // Теоретическая и экспериментальная психология. – 2016. – Т. 9. – № 1. – С. 43-59.

14. Пивоваров В. В. Спироартериокардиоритмограф // Медицинская техника. – 2006. – №1. – С. 38-42.

15. Пивоваров В. В. Компьютерный измеритель движений (КИД) // Медицинская техника. – 2006. – № 10. – С. 2-8.

Reference

1. Agadzhanjan N. A., Ujba V. V., Kulikova M. P. & Kochetkova A. V. Aktual'nye problemy adaptacionnoj, jekologicheskoj i vosstanovitel'noj mediciny [Actual problems of adaptive, ecological, and regenerative medicine]. Moscow, 2006. 208 p.

2. Antonov Yu. F. & Zajcev A. A. Magnitolevitationnaja transportnaja tehnologija [Magnetogravitational transport technology]. Moscow, 2014. 476 p.

3. Amoskov V. M., Arslanova D. N., Bazarov A. M., Belov A. V., Beljakov V. A., Beljakova T. F., Vasil'ev V. N., Gapionok E. I., Zajcev A. A., Kaparkova M. V., Kuhtin V. P., Lamzin E. A., Larionov M. S., Maksimenkova N. A., Mihajlov V. M., Nezhencev A. N., Ovsjannikov D. A., Ovsjannikov A. D., Rodin I. Yu. & Sychevskij S. E. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Serija 10. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravlenija.* – *Vestnik of Saint-Petersburg University*, 2015, no.3, pp. 4–20.

4. Apollonskij S. M., Gorskij A. N., Kaljada T. V., Sindalovskij B. E. & Supkov D. A. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti – Life safety*, 2011, no. S1, pp. 9–14.

5. Apollonskij S. M., Kaljada T. V. & Sindalovskij B. E. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti cheloveka v jelektromagnitnyh poljah* [The safety of human life in electromagnetic fields]. St. Petersburg, 2006. 263 p.

6. Bajora J. I. & Noskin L. A. Lazernaya korrelyacionnaya spektroskopiya v medicine [Laser correlation spectroscopy in medicine]. Odessa, 2002. 397 p.
7. Baranov V. M., Baevskij R. M., Berseneva A. P. & Mihajlov V. M. *Jekologija cheloveka – Human ecology*, 2004, no. 6, pp.25–29.
8. Vergunov E. G. & Nikolaeva E. I. *Estestvenno-nauchnyj podhod v sovremennoj psihologii – Natural-scientific approach in modern psychology*, 2014, pp. 232–238.
9. Zajcev A. A., Shmatchenko V. V. & Plehanov P. A. *Transport Rossijskoj Federacii – The transport of the Russian Federation*, 2015, no.5, pp.60–63.
10. Kryzhanovskiy G. N. Disregulatsionnaya patologiya [Disregulation disease]. Moscow, 2002. 96 p.
11. Kryzhanovskiy G. N., Kurneshova L. E., Pivovarov V. V., Noskin L. A. & Karganov M. Yu. *Integrativnaya antropologiya – Integrative anthropology*, 2003, no. 2, pp. 46–51.
12. Nikolaeva E. I., Vergunov E. G. & Elnikova O. E. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2015, no. 1-1, 1578 p.
13. Nikolaeva E. I. & Elnikova O. E. *Teoreticheskaya i eksperimentalnaya psikhologiya - Theoretical and Experimental Psychology*, 2016, no. 1, pp. 43–59.
14. Pivovarov V. V. *Medicinskaya tekhnika – Biomedical Engineering*, 2006, no. 1, pp. 38–42.
15. Pivovarov V. V. *Medicinskaya tekhnika – Biomedical Engineering*, 2006, no. 10, pp. 2–8.

Сведения об авторах:

РУБИНСКИЙ Артемий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры «Медицинская реабилитация и адаптивная физическая культура» ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

E-mail: rubinskiyav@1spbgmu.ru

НОСКИН Леонид Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, зав. лабораторией медицинской биофизики, Институт ядерной физики НИЦ «Курчатовский институт»

E-mail: lanoskin42@mail.ru

Information about authors:

Artemiy V. RUBINSKIY, PhD, Associate Professor of the chair of medical rehabilitation and adaptive physical training, Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University

E-mail: rubinskiyav@1spbgmu.ru

Leonid A. NOSKIN, Dr.Sci.Biol, Professor, Head of Laboratory of Medical Biophysics, Saint Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI) National Research Centre "Kurchatov Institute"

E-mail: lanoskin42@mail.ru

Раздел 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 338.47

Е. С. Палкина

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА В НОВОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Дата поступления: 31.07.2016

Решение о публикации: 28.11.2016

Дата публикации: 26.12.2016

Аннотация:

Введение: Конкурентоспособность национальных транспортных систем в глобальной экономике определяется прежде всего их инновационностью, что влияет на качество, стоимость транспортных услуг и, как следствие, на степень удовлетворенности потребителей. Инновационная способность экономического агента, в свою очередь, во многом зависит от величины и качества интеллектуального капитала.

Метод: Программа «Экономика транспорта высоких скоростей».

Результаты: В современной России вектор инновационного развития транспорта определяет такой важный показатель перевозочного процесса, как скорость доставки грузов и пассажиров. Очевидным следствием актуализации данного вектора развития национальной транспортной системы является потребность российской экономики в собственном кадровом и научном обеспечении реализации проектов развития высокоскоростного движения.

Одним из ведущих транспортных вузов России, осуществляющих подготовку отраслевых специалистов, является Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. В целях формирования интеллектуального капитала транспортной отрасли России, необходимого для создания национальной конкурентоспособной инновационной транспортной системы с 2015 года на базе кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВО ПГУПС реализуется новая магистерская программа «Экономика транспорта высоких скоростей». Эта программа направлена на опережающую качественную подготовку конкурентоспособных высококвалифицированных специалистов, обладающих инновационным мышлением, современными глубокими знаниями, навыками и компетенциями в области экономики и управления эффективностью бизнеса транспортных организаций (всех видов транспорта), функционирующих в высокоскоростной транспортной системе.

Заключение: Социально-экономический эффект в результате реализации программы заключается в том, что использование интеллектуального капитала и организационно-управленческих компетенций выпускников для создания в России конкурентоспособной высокоскоростной интеллектуальной транспортной системы

будет способствовать ускорению доставки грузов и пассажиров, повышению мобильности населения, экономической и социально-культурной интеграции регионов страны, обеспечению устойчивого территориального развития России, росту производительности труда, улучшению качества транспортных услуг, конкурентоспособности национальной транспортной системы на мировом рынке транспортных услуг, увеличению использования транспортно-транзитного потенциала Российской Федерации, доходов бюджета от экспорта транспортных услуг.

***Ключевые слова:** высокоскоростные транспортные системы, инновации, интеллектуальный капитал, конкурентоспособность, экономика транспорта высоких скоростей.*

Elena S. Palkina

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

INTELLECTUAL CAPITAL FORMATION IN NEW ECONOMIC SPACE BASED ON HIGH-SPEED TRANSPORT SYSTEMS

Abstract:

Introduction: The competitiveness of national transport systems in the global economy is primarily determined by their innovativeness, which influences the quality, cost of transport services and, as a consequence, the degree of customer satisfaction. The innovative capacity of an economic agent, in turn, depends largely on the size and quality of intellectual capital.

Method: The "Economics of Transport of high speeds".

Result: In modern Russia the vector of transport system innovation development is determined by such an important indicator of the transportation process, as the delivery time of goods and passengers. An obvious consequence of the actualization of this vector of development of national transport system is the need of the Russian economy in its own personnel and scientific support for high-speed traffic development projects.

One of the leading transport universities of the Russian Federation, training industry experts, is the Petersburg State Transport University. Scientific and personnel potential of the University can be successfully used in the formation of the Eurasian economic space high-tech network of high-speed traffic.

Since 2015, in order to generate the intellectual capital for the Russian transport industry development, needed for creation of the national competitive innovative transport system, a new master's program "High-speed transport economics" has been implemented on the basis of the Transportation Economics Department, the PGUPS. This program is aimed at proactive quality training of competitive highly qualified specialists with innovative thinking, modern in-depth knowledge, skills and competences in the field of economics and management of transport companies (all modes of transport).

Conclusion: The socio-economic impact as a result of the implementation of the program is that the use of intellectual capital and organizational and managerial skills of its graduates for creation in Russia the competitive high-speed intelligent transport system will help to speed up delivery of goods and passengers, increase population mobility, enhance the economic and socio-cultural integration of the regions of the country, the sustainable territorial development of Russia, growth of labor productivity, improvement of transport services quality, the competitiveness of the national transport system in the global market of transport services, increase the use of transport-transit potential of the Russian Federation, its budget revenues from the export of transport services.

Keywords: competitiveness, high-speed transport system, innovation, intellectual capital, high speed transport economics.

Введение

Конкурентоспособность национальных транспортных систем в глобальной экономике определяется прежде всего их инновационностью, что влияет на качество, стоимость транспортных услуг и, как следствие, на степень удовлетворенности потребителей. Инновационная способность экономического агента, в свою очередь, во многом зависит от величины и качества интеллектуального капитала. Интеллектуальный капитал – это система капитализированных интеллектуальных знаний, созидательное использование которых обеспечивает производство новых интеллектуальных благ и получение соответствующих доходов; сумма знаний всех работников компании, обеспечивающая ей конкурентоспособность [11].

Интеллектуальный капитал является базисным компонентом системы общего менеджмента, поскольку он является источником создания всех других видов капитала. Соответственно, прямые инвестиции в интеллектуальный капитал одновременно являются косвенными инвестициями в финансовые, нематериальные и материальные активы. Как отмечает доктор экономических наук, профессор Б.В. Салихов в своей монографии «Интеллектуальный капитал» (сущность, структура и основы управления, значение интеллектуального капитала как интегратора всех видов капитала заключается в создании технологической «сцепки» существующих факторов производства, в формировании благоприятной социально-экономической и институциональной среды, обеспечивающей наиболее результативное использование элементов природного и вещественного капитала. При этом и вещественный капитал становится более знаниеёмким и высокоэффективным» [11].

Носителем интеллектуального капитала является человек. Человек использует свои знания и, синтезируя их вместе с другими видами капитала, управляет процессом создания новшества в соответствующей сфере деятельности и последующей его коммерциализации. Соответственно, от уровня его образования, компетенций зависит результат успешной реализации инновационных проектов, в том числе на транспорте.

Основу интеллектуального капитала составляют знания, которые могут быть материализованы в конечные рыночно-ориентированные продукты и формировать добавленную стоимость. Новые знания невозможно продуцировать без формирования и развития инновационного мышления, которое составляет ядро изобретательских, проектно-

экономических, аналитических, организационно-управленческих, предпринимательских компетенций.

В современной России вектор инновационного развития транспорта определяет такой важный показатель перевозочного процесса, как скорость доставки грузов и пассажиров. Строящиеся высокоскоростные железнодорожные и автомобильные магистрали в России в будущем станут основой международных мультимодальных высокоскоростных транспортных коридоров. Очевидным следствием актуализации данного вектора развития национальной транспортной системы является потребность российской экономики в собственном кадровом и научном обеспечении реализации проектов развития высокоскоростного движения. Сформировалась высокая потребность в квалифицированных отраслевых специалистах, способных системно мыслить, принимать ответственные рациональные управленческие решения, понимать процессы и закономерности рынка высокоскоростных транспортных услуг, особенности поведения рыночных субъектов в новых экономических условиях.

Одним из ведущих транспортных вузов России, осуществляющих подготовку отраслевых специалистов, является Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Научный и кадровый потенциал вуза может быть с успехом использован при формировании на евразийском экономическом пространстве высокотехнологичной сети высокоскоростного транспортного движения. Так, на кафедре «Экономика транспорта» уже несколько лет формируется новое научное направление, связанное с созданием фундаментальных основ экономики транспорта высоких технологий [1-5, 7-10, 12, 14, 15].

Программа «Экономика транспорта высоких скоростей»

В целях формирования интеллектуального капитала транспортной отрасли России, необходимого для создания национальной конкурентоспособной инновационной транспортной системы с 2015 года на базе кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВО ПГУПС реализуется новая магистерская программа «Экономика транспорта высоких скоростей».

Эта программа направлена на опережающую качественную подготовку конкурентоспособных высококвалифицированных специалистов, обладающих инновационным мышлением, современными глубокими знаниями, навыками и компетенциями в области экономики и управления эффективностью бизнеса транспортных организаций (всех видов транспорта), функционирующих в высокоскоростной транспортной системе, способных быстро принимать рациональные экономически

обоснованные управленческие решения, проводить фундаментальные и прикладные научные исследования на международном уровне.

Целью магистерской программы является формирование у магистрантов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в области научно-исследовательской, проектно-экономической, аналитической, организационно-управленческой деятельности в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 38.04.01 «Экономика» (уровень магистратуры), а также развитие личностных качеств, необходимых для разработки и эффективной реализации проектов развития высокоскоростного транспортного сообщения в России.

Предусмотрены 2 формы обучения: очная (срок обучения – 2 года) и заочная (срок обучения – 2,5 года).

Теоретический фундамент программы формируют научные достижения ведущих отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области макроэкономики, экономики транспорта, стратегического, финансового менеджмента, инвестиций, в том числе сотрудников кафедры «Экономика транспорта», которые под научным руководством заведующей кафедрой, доктора экономических наук, профессора Н.А. Журавлевой активно и продуктивно разрабатывают перспективное научное направление по созданию новой экономики железных дорог на базе высокоскоростной интеллектуальной транспортной системы.

Программа включает как классические базовые дисциплины (среди них: «Прикладная экономика», «Методология экономической науки и практики», «Информационные системы в экономике»), так и новые, актуальные в настоящее время курсы: «Рынок высокоскоростных транспортных услуг», «Деловые циклы и экономические стратегии транспортных организаций», «Методология риск-менеджмента реализации проектов высокоскоростного транспортного сообщения», «Процессы и инструменты управления проектами организации и развития высокоскоростного движения», «Бизнес-планирование и социально-экономическое прогнозирование развития высокоскоростного сообщения», «Экономика инноваций на высокоскоростном транспорте», «Стратегическое управление транспортными организациями в высокоскоростной транспортной системе». В целом программы учебных дисциплин основаны на адаптации лучшего мирового опыта в области экономики и управления на транспорте к специфическим условиям внедрения высокоскоростного сообщения в России.

Обучение по магистерской программе позволяет получить знания экономических механизмов и закономерностей функционирования рынка высокоскоростных транспортных услуг, экономики транспортных организаций в современных рыночных условиях, дает возможность

овладеть современным инструментарием в области риск-менеджмента, управления проектами, стратегического планирования и реализации стратегии в сфере высокоскоростного сообщения, организовать и осуществлять экономически эффективную деятельность организаций, предоставляющих услуги высокоскоростного транспортного обслуживания грузов и пассажиров, получить навыки бизнес-планирования проектов высокоскоростного транспортного сообщения и управления их реализацией, что, в свою очередь, является залогом успешной профессиональной деятельности и карьерного роста ее выпускников.

Магистерская программа предназначена для специалистов организаций, желающих повысить квалификацию в области экономики транспорта, функционирующего в условиях развития высокоскоростного сообщения, выпускников вузов (бакалавров, специалистов), стремящихся построить карьеру в экономических подразделениях коммерческих компаний транспортной отрасли.

Ведущие преподаватели кафедры, задействованные в реализации программы, имеют многолетний опыт научно-исследовательской работы, преподавательской деятельности в высшей школе, сотрудничества с организациями – лидерами транспортной отрасли, владеют современными интерактивными методами обучения, являются авторами разработок учебно-методических комплексов. Большинство из них принимали участие в реализации дополнительной профессиональной программы переподготовки по совместному европейскому проекту «Tempus» – «Подготовка в области инфраструктуры и эксплуатации высокоскоростного железнодорожного движения в России».

Материально-техническая база ФГБОУ ВО ПГУПС, на базе которой реализуется магистерская программа «Экономика транспорта высоких скоростей», обеспечивает проведение всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом, и соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам. Она содержит помещения для проведения лекционных и практических занятий, укомплектованных специализированной учебной мебелью и техническими средствами обучения, интернет-сервисы и электронные ресурсы, необходимое лицензионное программное обеспечение.

Высокое качество услуг в области образования и научно-исследовательской деятельности по программе обеспечивается документацией системы менеджмента качества по основным направлениям деятельности университета, разработанной Управлением по качеству совместно с другими структурными подразделениями вуза.

Результаты

Экономический эффект в результате реализации магистерской программы «Экономика транспорта высоких скоростей», заключается в том, что профессиональная деятельность квалифицированных кадров – выпускников программы, задействованных в разработке и реализации проектов по развитию высокоскоростного сообщения в России, будет способствовать повышению степени эффективности и результативности достижения стратегических целей, определенных в Транспортной стратегии Российской Федерации и других отраслевых, региональных программных документах, повышению качества оказания транспортных услуг, росту производительности труда [13]. Это позволит повысить конкурентоспособность национальной транспортной системы на мировом рынке транспортных услуг, степень использования транспортно-транзитного потенциала Российской Федерации, увеличить доходы бюджета от экспорта транспортных услуг. Развитие высокоскоростной национальной транспортной системы окажет мультипликативный эффект на развитие других смежных отраслей экономики и в целом будет способствовать макроэкономическому росту в стране на фундаментальной инновационной основе. Социальный эффект заключается в подготовке квалифицированных специалистов, востребованных современной экономикой, использовании их интеллектуального капитала и организационно-управленческих навыков для построения в России высокоскоростной интеллектуальной конкурентоспособной транспортной системы, направленной на ускорение доставки грузов и пассажиров, повышение мобильности населения, усиление экономической и социокультурной интеграции регионов страны, устойчивое территориальное развитие России. Так, например, совокупный социально-экономический эффект от реализации проекта создания ВСМ «Москва – Санкт-Петербург», по оценкам экспертов, составит примерно 2 247 млрд. руб. Экономический эффект от сокращения времени в пути от центра Москвы до центра Санкт-Петербурга до 2,5 ч, по оценкам специалистов, может составить около 234 млрд. руб., от повышения безопасности перевозок – примерно 6,4 млрд. руб. Кроме этого, в период строительства ВСМ «Москва – Санкт-Петербург» планируется создать до 40 тыс. рабочих мест с учетом развития смежных отраслей. Эффект от увеличения доходов населения за счет создания новых рабочих мест ориентировочно составит до 134 млрд. руб. Эффект от дополнительной прибыли предприятий отраслей промышленности, строительства и электроэнергетики – до 113 млрд. руб. [6].

Заключение

Необходимым условием достижения вышеперечисленных эффектов в результате создания высокоскоростной транспортной системы в России является формирование и использование интеллектуального капитала, генерируемого в том числе благодаря реализации магистерской программы «Экономика транспорта высоких скоростей» на базе ФГБОУ ВО ПГУПС.

Библиографический список

1. Амосков В. М. Особенности численного моделирования систем электродинамического подвеса магнитолевитационного транспорта с использованием многопроцессорных ЭВМ / В. М. Амосков, Д. Н. Арсланова, А. М. Базаров, А. А. Зайцев и др. // Супервычисления и математическое моделирование: труды XV Международной конференции / под ред. Р. М. Шагалиева. – Саров: ФГУП «РФЯЦ_ВНИИЭФ», 2015. – С. 33-41.

2. Антонов Ю. Ф. Магнитолевитационная технология как транспортная стратегия высокоскоростного движения / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев, А. Г. Серeda, Е. Г. Серeda, В. В. Никитин, В. В. Стрепетов // Интеллектуальные системы на транспорте: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – СПб, 2014. – С. 184-185.

3. Воеводский К. Э. Влияние источника первичного магнитного поля транспортной установки на характеристики электродинамического подвеса / К. Э. Воеводский, В. М. Стрепетов // Электричество. – М., 2016. – №11. – С. 50-57.

4. Зайцев А. А. Контейнерный мост Санкт-Петербург – Москва на основе магнитной левитации / А. А. Зайцев, Ю. Ф. Антонов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии. МТСТ'14: Труды 2-й Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 года / под ред. проф. Ю. Ф. Антонова, СПб, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 11-23. – URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 31.07.2016).

5. Зайцев А. А. Магнитолевитационные транспортные системы и технологии / А. А. Зайцев // Железнодорожный транспорт. – СПб, 2014. – № 5. – С. 69-73.

6. Муратов Д. Г. Создание сети высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) в России: презентация. – URL: <http://www.myshared.ru/slide/47987/> (дата обращения 31.07.2016).

7. Никитин В. В. Системы определения скорости и положения экипажа с линейными синхронными двигателями / В. В. Никитин, С. А. Гулин, Е. Г. Серeda // Транспортные системы и технологии. – СПб, 2015. – № 2(2). – С. 85–99. – URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html> (дата обращения 31.07.2016).

8. Никитин В. В. Безредукторный тяговый привод городского рельсового транспорта / В. В. Никитин, А.-Я. Ю. Пармас, В. М. Пивоваров, Р. Р. Саттаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб: ПГУПС, 2013. – №1. – С.31-38.

9. Никитин В. В. Оценка совокупной массы электрооборудования комбинированной системы левитации и тяги на переменном токе с криогенной рефрижераторной системой / В. В. Никитин, Г. Е. Середа, В. М. Стрепетов // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: Труды 2-й международной научной конференции, Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 209-213. – URL: http://www.transst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 31.07.2016).

10. Официальный сайт ФГБОУ ВО ПГУПС. – URL: <http://www.pgups.ru> (дата обращения 31.07.2016).

11. Салихов Б. В. Интеллектуальный капитал: сущность, структура и основы управления. Монография. BV-SALIKHOV. – URL: <http://bv-salikhov.ru/intellektualnyj-kapital.html> (дата обращения 31.07.2016).

12. Sokolova Y. V. Elements of effective management of innovative development of the transport company. The 7th International Scientific Conference "European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches" Proc. reports. III Intern. scientific.- pract. Conf. SC, 2014, pp. 185-187.

13. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. – URL:http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008 (дата обращения 31.07.2016).

14. Хожаинов А. И. Энергосберегающие преобразователи электроприводов магнитолевитационных транспортных систем / А. И. Хожаинов, В. В. Никитин, Е. Г. Середа // Магнитолевитационные транспортные системы и технологии: Труды 2-й международной научной конференции, Санкт-Петербург, 17-20 июня 2014 г. – Киров: МЦНИП, 2014. – С. 313-322. – URL: http://www.transst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf (дата обращения 31.07.2016).

15. Шматченко В. В. Стандарты Комитета CENELEC как составная часть Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS / В. В. Шматченко, П. А. Плеханов // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики». – СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 75-79.

References

1. Amoskov V. M., Arslanov D. N., Bazarov M. A. & Zaitsev A. A. Osobnosti chislennogo modelirovaniya sistem ehlektrodinamicheskogo podvesa magnitolevitacionnogo transporta s ispol'zovaniem mnogoprocessornyh EHVМ [Numerical simulation of electrodynamic suspension systems magnetogravitational transport using massively parallel computers]. *Trudy XV Mezhdunarodnoj konferencii "Supervychisleniya i matematicheskoe modelirovanie"* (Proceedings of

the XV International conference “Supervigilancia and mathematical modeling”). Sarov, 2015, pp. 33–41.

2. Antonov Y. F., Zaitsev A. A., Sereda A. G., Sereda E. G., Nikitin V. V. & Strepetov V. V. Magnitolevitacionnaya tekhnologiya kak transportnaya strategiya vysokoskorostnogo dvizheniya [Magnetogravitational technology as a transport strategy of high-speed motion. Intellectual systems of transport]. *Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Intellektual'nye sistemy na transporte"* (Materials of IV International scientific-practical conference). St. Petersburg, 2014, pp. 184–185.

3. Voevodskij K. E. & Strepetov V. M. *Ehlektrichestvo – Electricity*, 2016, no. 11, pp. 50–57.

4. Zaitsev A. A. & Antonov Y. F. Kontejnernyj most Sankt-Peterburg – Moskva na osnove magnitnoj levitacii [Board of the bridge Saint-Petersburg – Moscow on the basis of magnetic levitation]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation transport systems and technologies” MTST’14). Kirov, 2014. pp. 11–23. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

5. Zaitsev A. A. *Zheleznodorozhnyj transport – Railway transport*, 2014, no. 5, pp. 69–73.

6. Muratov D. G. *Sozdanie seti vysokoskorostnyh zheleznodorozhnyh magistralej (VSM) v Rossii: prezentaciya* (The Creation of a network of high-speed Railways (HSR) in Russia: presentation). URL: <http://www.myshared.ru/slide/47987/>.

7. Nikitin V. V., Gulin S. A. & Sereda E. G. *Transportnye sistemy i tekhnologii – Transport systems and technologies*, 2015, no 2(2), pp. 85–99. URL: <http://www.transssyst.ru/tekushiy-nomer2.html.html>.

8. Nikitin V. V., Parmas A.-Ya. Yu., Pivovarov V. M. & Sattarov R. R. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya – News of Petersburg University of means of communication*, 2013, no. 1, pp. 31–38.

9. Nikitin V. V., Sereda G. E. & Strepetov V. V. Ocenka sovokupnoj massy ehlektrooborudovaniya kombinirovannoj sistemy levitacii i tyagi na peremennom toke s kriogennoj refrizheratornoj sistemoj [Estimation of the overall mass of the electrical equipment of the combined system of levitation and thrust into an AC current with a cryogenic refrigeration system]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii” MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference “Magnetocavitation transport systems and technologies” MTST’14). Kirov, 2014. pp. 209–213. URL: http://www.transssyst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

10. Oficial'nyj sajt PGUPS [The official website PSTU]. URL: <http://www.pgups.ru>.

11. Salikhov B. V. Intellektual'nyj kapital: sushchnost', struktura i osnovy upravleniya. Monografiya [Intellectual capital: essence, structure and fundamentals

of management: monograph]. URL: <http://bv-salikhov.ru/intellektualnyj-kapital.html>.

12. Sokolova Y. V. Elements of effective management of innovative development of the transport company. The 7th International Scientific Conference "European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches" Proc. reports. III Intern. scientific.- pract. Conf. SC, 2014, pp. 185–187.

13. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030]. URL: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008.

14. Chugainov A. I., Nikitin V. V. & Sereda E. G. Ehnergosberegayushchie preobrazovateli ehlektroprivodov magnitolevitacionnyh transportnyh sistem [Energy-Saving converters electric drives magnetocavitation transport systems]. *Trudy 2-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Magnitolevitacionnye transportnye sistemy i tekhnologii" MTST'14* (Proceedings of the 2nd International scientific conference "Magnetocavitation transport systems and technologies" MTST'14). Kirov, 2014. pp. 313–322. URL: http://www.transst.ru/files/sbornik-trudov_mtst_2014-pdf.pdf.

15. Shmatchenko V. V. & Plekhanov P. A. *Aktual'nye voprosy razvitiya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki – Actual issues of development of systems of railway automatics and telemechanics*, 2013, pp. 75–79.

Сведения об авторе:

ПАЛКИНА Елена Сергеевна, профессор кафедры «Экономика транспорта» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

E-mail: elena_palkina@hotmail.com

Information about author:

Elena S. PALKINA, Professor, Transportation Economics Department, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

E-mail: elena_palkina@hotmail.com